П. Н. Новиков, В. Я. Кауфман

ЗАДАЧНИК по электротехнике с основами промышленной электроники

Издание третье,
переработанное
и дополненное

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебного пособия
для средних профессионально-технических училищ



Москва «Высшая школа» 1985

ББК 31.2
Н73
УДК 621.3

Рецензент профессор В. Е. Китаев
(Московский электротехнический институт связи)

Новиков П. Н., Кауфман В. Я.

Н73 Задачник по электротехнике с основами промышленной электроники: Учеб. пособие для средн. проф.-техн. училищ.—3-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. шк., 1985.—232 с., ил.— (Профтехобразование).

В пер.: 45 к

В книгу включены задачи по основным разделам программы «Электротехника с основами промышленной электроники» и даны ответы на них. Приведены краткие теоретические сведения по электротехнике и электронике.

Третье издание переработано в соответствии с современным уровнем развития науки и техники.

Н $\frac{2302010000-167}{052(01)-85}$ 9—85

ББК 31.2
6П2.1

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решениями партии и правительства предусматривается дальнейшее развитие электроэнергетической, электротехнической и электронной промышленности, которые во многом определяют научно-технический прогресс. Это вызывает растущую потребность в рабочих кадрах для указанных отраслей народного хозяйства. Реформа общеобразовательной и профессиональной школы предъявляет новые, повышенные требования к качеству подготовки квалифицированных рабочих в средних профтехучилищах.

Настоящий задачник предназначен для средних профессионально-технических училищ. Цель изучения электротехники — дать учащимся знание ее основных законов, устройства и принципа действия электроизмерительных приборов, трансформаторов, электрических машин, основных сведений из промышленной электроники. Для достижения этой цели учащимся нужно глубоко усвоить физическую сущность электрических и магнитных явлений, их взаимную связь и количественные соотношения, овладеть необходимым математическим аппаратом для расчетов характеристик устройств и нахождения их параметров. Кроме того, следует представлять реальные диапазоны изменения характеристик и параметров электротехнических устройств, что необходимо учащимся при последующем изучении специфики конкретных конструкций, их монтажа, обслуживания, ремонта.

Электротехника как общетехнический предмет, основываясь на общеобразовательных предметах, в свою очередь, является базой для специальных дисциплин и производственного обучения. Поэтому ряд задач составлен таким образом, что для их успешного решения необходимы знания не только по курсу электротехники, но и по общеобразовательным предметам (физике, математике, химии). Наряду с этим многие задачи непосредственно связаны со специальной технологией, производственным обучением, электроматериаловедением.

Чтобы облегчить учащимся работу над задачами, в начале каждой главы приведены краткие теоретические сведения, необходимые для решения задач, а в конце книги даются справочные данные — приложения. Решение задач служит одним из средств овладения системой знаний по электротехнике, поможет учащимся более глубоко и всесторонне усвоить программный материал. Многообразие задач позволит преподавателям учитывать индивидуальные особенности учащихся и специфику профессий, по которым их готовят в училищах профтехобразования.

Глава I
ЭЛЕКТРОСТАТИКА

§ 1. Физика электрических явлений

Физические явления в природе, связанные с наличием заряда в различных телах, объясняются современной электронной теорией строения вещества. Частицы, определяющие положительный заряд тела,— это протоны, а отрицательный заряд — электроны.

Масса (кг) и заряд (Кл) протона соответственно равны:

$$m_p=1{,}67\cdot10^{-27};\ q_p=1{,}6\cdot10^{-19}.$$

Масса и заряд электрона соответственно равны:

$$m_e=9\cdot10^{-31};\ q_e=-1{,}6\cdot10^{-19}.$$

Число молекул в одном моле (моль$^{-1}$) любого вещества (число Авогадро)

$$N_A=6{,}02\cdot10^{23}.$$

Электростатическое поле связано с неподвижными зарядами и определяется свойствами диэлектриков, используемых для изоляции токопроводящих частей, находящихся под разными электрическими потенциалами.

ЗАДАЧИ

1. Какими простейшими способами можно разрядить заряженное тело? Поясните физический смысл удаления электрических зарядов.

2. Легкая бумажка притягивается к заряженной палочке. В каком случае притяжение будет сильнее: когда бумажка лежит на деревянном или на металлическом столе?

3. Каким образом при электризации тел возникает положительный или отрицательный заряд? Изменяется ли общее число заряженных частиц при электризации?

4. Как распределяются заряды на поверхности заряженного тела? Можно ли передать весь заряд с одного проводника другому?

5. В течение какого времени масса нити лампы накаливания уменьшится вдвое, если ежесекундно из нее вылетает 10^{12} электронов? Начальная масса нити 10^{-3} кг.

6. Определите суммарные заряды ионов натрия и хлора в 1 л 5 %-ного раствора поваренной соли.

7. В каких областях электротехники статическое электричество вызывает нежелательные явления? Перечислите основные методы борьбы со статическим электричеством.

8. Каковы требования к конструктивным формам изоляторов высокого напряжения и чем они определяются? Укажите основные материалы, применяемые для их изготовления.

§ 2. Электрическое поле

Сила взаимодействия двух точечных электрических зарядов (Н) определяется по закону Кулона:

$$F = q_1 q_2/(4\pi\varepsilon_0\varepsilon l_q^2), \qquad (1)$$

где q_1 и q_2 — числовые значения зарядов, Кл; l_q — расстояние между зарядами, м; $\varepsilon_0 = 1/(4\pi\cdot 9\cdot 10^9)$ — электрическая постоянная, Ф/м; $\varepsilon = F_0/F$ — относительная диэлектрическая проницаемость среды; здесь F_0 — сила взаимодействия зарядов в вакууме, Н.

Напряженность поля (Н/Кл) есть отношение силы, действующей на заряд, помещенный в данной точке пространства, к числовому значению этого заряда:

$$E_п = F/q. \qquad (2)$$

Электрическое напряжение (В), или разность потенциалов, представляет собой отношение работы, совершаемой при перемещении зарядов из одной точки в другую, к числовому значению этого заряда:

$$U_{AB} = W_A/q. \qquad (3)$$

Между напряженностью (В/м) однородного электрического поля и разностью потенциалов существует следующая связь:

$$E_п = U_{AB}/l_{AB}, \qquad (4)$$

где l_{AB} — расстояние между точками A и B, м.

Одной из наиболее важных электростатических величин является электрическая прочность (В/м), которая позволяет оценить способность диэлектрика противостоять разрушению его электрическим напряжением:

$$E_{пр} = U/d, \qquad (5)$$

где U — напряжение, приложенное к диэлектрику, В; d — толщина диэлектрика, м.

Значения диэлектрической проницаемости и электрической прочности наиболее распространенных изоляционных материалов приведены в приложении 2. Следует отметить, что указанные в нем значения являются ориентировочными, так как они зависят от температуры и влажности диэлектрика, от длительности воздействия напряжения.

ЗАДАЧИ

9. Как зависит распределение зарядов на поверхности тела от ее формы? Почему нельзя передать телу ограниченного объема произвольно большой заряд?

10. Во сколько раз изменится сила притяжения между двумя заряженными телами, если: а) расстояние между ними увеличить вдвое; б) один из зарядов уменьшить втрое; в) оба заряда увеличить вдвое; г) один из зарядов уменьшить вдвое, а другой увеличить втрое?

11. Два заряда, находящиеся на определенном расстоянии, действуют друг на друга в вакууме с силой 10^{-4} Н, а в жидкости — с силой $5 \cdot 10^{-5}$Н. Найти относительную диэлектрическую проницаемость жидкости.

12*. Расстояние $l_0 = 0{,}1$ м между двумя заряженными телами увеличилось на 0,1 м. На сколько изменится сила притяжения между телами, если их заряды $q_1 = q_2 = 5 \cdot 10^{-6}$Кл? Относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 5$.

13. Заряженный шар массой 10^{-3} кг свободно висит в воздухе на расстоянии 0,1 м над телом, заряженным одноименным зарядом. Определить заряд шара, если он в 10 раз меньше заряда тела.

14. У двух одноименно заряженных шаров, находящихся на расстоянии 0,1 м, один заряд больше другого в 4 раза. На каком расстоянии между ними нужно расположить третий шар, чтобы он находился в равновесии?

15. Сила взаимодействия двух одинаково заряженных шаров уравновешивает силу тяготения между ними. Чему равен заряд шаров, если масса каждого из них 10^{-3} кг?

16. Имеются два одинаково заряженных точечных тела, находящихся на некотором расстоянии друг от друга.

---

*В задачах 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 26 считать, что взаимодействие зарядов тел подчиняется закону Кулона.

Построить множество точек в плоскости тел, для которых выполняются следующие соотношения сил, действующих на точечный единичный заряд:
а) $F_1=F_2$; б) $F_1=4F_2$; в) $F_2=4F_1$.

17. Два шара помещены в объем, из которого удален воздух, при этом сила взаимодействия между ними F_0. Затем объем постепенно заполняют газом, и сила взаимодействия уменьшается во времени по закону $F=F_0\,(1+4e^{-t/\tau})$, где τ — постоянная времени. Определить относительную диэлектрическую проницаемость для данного газа.

18. Два одноименно заряженных тела, находящиеся в воздухе на расстоянии 10 мм, соединили проволокой, после чего заряды (Кл) тел изменились по закону $q_1=8\cdot10^{-8}\times\times(1+0{,}25e^{-t/\tau})$ и $q_2=8\cdot10^{-8}\cdot(1-0{,}25e^{-t/\tau})$. Определить силу взаимодействия зарядов в начале и конце разряда.

19. В каком направлении будет двигаться отрицательный точечный заряд в трех случаях (*а, б, в*), указанных на рис. 1? Силы взаимодействия обоих заряженных тел и заряда в данной точке одинаковы.

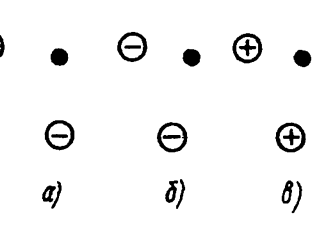


Рис. 1. К задаче 19

20. В электростатической системе точечные заряды *A*, *B* и *C* соответственно равны: $q_A=10^{-6}$ Кл; $q_B=2\cdot10^{-6}$ Кл; $q_C=5\cdot10^{-6}$ Кл. Найти результирующую силу, действующую на заряд *B*, если отрезки *AB* и *BC* взаимно перпендикулярны и составляют 0,1 и 0,2 м. Относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon=1$.

21. В электростатических системах (рис. 2, *а, б*) точечные заряды *A, B, C* соответственно равны $q_A=3\times\times10^{-7}$ Кл; $q_B=4\cdot10^{-7}$ Кл; $q_C=9\cdot10^{-7}$ Кл. Найти ре-

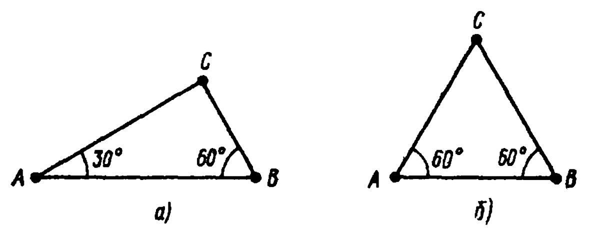


Рис. 2. *а*—к задаче 21; *б*—к задачам 21, 227

зультирующие силы, действующие на каждый заряд, если отрезок $AB = 0,3$ м.

22. Определить погрешность при нахождении силы взаимодействия двух заряженных тел, если расстояние между ними найдено с погрешностью ± 1 %.

23. В данной точке пространства поле действует на заряд 10^{-8} Кл с силой 0,1 Н. С какой силой будет действовать поле на заряды 10^{-9}; 10^{-7} Кл?

24. Напряженность электрического поля у поверхности Земли составляет в данной точке 130 В/м. Определить напряжение между головой человека ростом 1,7 м и его ногами.

25. В однородном электрическом поле были измерены напряжения: $U_{AB} = 1$ В; $U_{AC} = 2,5$ В; $U_{AD} = 4$ В. Определить напряженность этого поля, если расстояние между точками $l_{AB} = 0,5$ м; $l_{AC} = 1$ м; $l_{AD} = 2$ м. Учитывая, что одно из напряжений было измерено неточно, указать его.

26. Напряжение между двумя параллельными пластинами, находящимися на расстоянии 0,1 м друг от друга, составляет 100 В. Какая сила действует на помещенный между пластинами заряд 10^{-8} Кл? Чему будет равна эта сила, если расстояние между пластинами увеличить вдвое?

27. Каково напряжение между точками *A* и *C*, если напряжение между точками *A* и *B* равно 120 В, а между *C* и *B* — 180 В? Найти расстояние между точками *A* и *B*, находящимися в поле напряженностью 200 В/м.

28. При напряженности поля 200 В/м напряжение между точками *A* и *B* равно 50 В. Какое будет напряжение, если напряженность: а) уменьшить вдвое; б) увеличить втрое? Найти расстояние от *A* до *B*.

29. Найти работу, совершаемую в однородном поле напряженностью 150 В/м при перемещении заряда 10^{-7} Кл на расстояние 0,2 м; а) параллельно силовым линиям; б) под углом 60°.

30. В качестве электроизоляционного материала использована лакоткань. До каких напряжений она может использоваться, если ее толщина составляет 0,1; 0,3; 0,8 мм? Как изменятся допустимые напряжения, если использовать полистирол?

31. При практическом использовании диэлектрических материалов было обнаружено, что электрическая прочность для одного и того же материала при увеличении его толщины значительно ниже, чем рассчитанная по формуле (5). Пояснить причину этого явления.

§ 3. Конденсаторы

Емкость конденсатора (Ф)*

$$C = q/U_{AB}, \qquad (6)$$

где U_{AB} — разность потенциалов между пластинами конденсатора, В; q — заряд одной из пластин, Кл.

Емкость конденсатора определяется его геометрическими характеристиками и относительной диэлектрической проницаемостью диэлектрика, помещенного между его пластинами. В зависимости от типов конденсаторов для расчета их емкости применяют следующие формулы:

для плоского конденсатора

$$C = \varepsilon\varepsilon_0 S/l_C, \qquad (7)$$

где S — площадь одной пластины, м^2; l_C — расстояние между пластинами, м;

для цилиндрического конденсатора

$$C = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l/(\ln R/r), \qquad (8)$$

где l — высота коаксиальных цилиндров, м; r и R — радиусы внутреннего и внешнего цилиндров, м;

для сферического конденсатора

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 rR/(R-r), \qquad (9)$$

где r и R — радиусы внутренней и внешней сфер, м.

В электротехнических устройствах нашли применение конденсаторы переменной емкости, а также полупроводниковые приборы, емкость которых зависит от приложенного напряжения,— варикапы.

Заряженный конденсатор обладает энергией, которую он получает в процессе зарядки и отдает при разрядке. Энергия электрического поля конденсатора (Дж)

$$W_э = CU^2/2, \qquad (10)$$

где U — напряжение между пластинами конденсатора, В.

ЗАДАЧИ

32. Каким зарядом обладает конденсатор емкостью 1 мкФ, если напряжение между его пластинами 50 В?

---

*На практике часто используют следующие единицы емкости: пФ $= 10^{-12}$Ф; нФ $= 10^{-9}$Ф; мкФ $= 10^{-6}$ Ф.

Найти напряженность поля в диэлектрике, если расстояние между пластинами 0,1 мм.

33. Найти емкость плоского конденсатора, площадь пластин которого 10^{-3} м^2, расстояние между пластинами 0,1 мм, а относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 7$.

34. Как изменится емкость плоского конденсатора: а) при увеличении площади пластин в 3 раза; б) при уменьшении расстояния между пластинами в 4 раза; в) при одновременном уменьшении площади в 2 раза и расстояния в 3 раза?

35. Определить площадь пластин плоского конденсатора, расстояние между которыми 0,2 мм, если его емкость 0,1 мкФ. Относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 50$.

36. Чему равна емкость плоского конденсатора с круглыми пластинами $\varnothing$ 10 мм, если расстояние между пластинами 0,05 мм, а относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 40$?

37. Какова относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика плоского конденсатора, если площадь пластины 10^{-2} м^2, расстояние между пластинами 0,05 мм, а его емкость 0,5 мкФ?

38. При увеличении площади пластин плоского конденсатора на 10^{-2} м^2 его емкость увеличилась в 3 раза. Найти первоначальную площадь пластин.

39. Пластины плоских конденсаторов выполнены в форме круга, квадрата и равностороннего треугольника, которые имеют одинаковый периметр p. Определить соотношения между емкостями конденсаторов, если диэлектрическая проницаемость и расстояние между пластинами одинаковы во всех случаях.

40. При расчете цилиндрического конденсатора диаметры внутреннего и внешнего цилиндров высотой 9 мм, являющихся его пластинами, выбирались в диапазонах соответственно $5 \div 7$ и $8 \div 10$ мм. В каких пределах находится емкость конденсатора, если диэлектрик имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 10$?

41. При каком соотношении диаметров внутреннего и внешнего цилиндров высотой 9 мм емкость цилиндрического конденсатора будет равна 10, 20, 50 пФ? Относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 10$.

42. При расчете сферического конденсатора диаметры внутренней и внешней сфер, являющихся его пластинами, выбирались в диапазонах соответственно $6 \div 8$ и

$9 \div 11$ мм. В каких пределах находится емкость конденсатора, если диэлектрик имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 45$?

43. Какой диаметр внутренней сферы необходимо выбрать для сферического конденсатора с внешним диаметром 10 мм, чтобы его емкость была 5; 7,5; 10 пФ? Относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 45$.

44. Конденсатор переменной емкости состоит из пластин, выполненных в виде полуокружностей, расположенных на одной оси, причем одна из них вращается (рис. 3). Найти зависимость емкости конденсатора от угла поворота подвижной пластины, если расстояние между пластинами 0,01 м, радиус полуокружности 0,2 м. Найти относительное изменение емкости на 1° угла поворота.

45. Чему равна емкость варикапа (рис. 4) при напряжениях 5, 10, 20 В? Построить графики зависимостей заряда и энергии варикапа от напряжения.

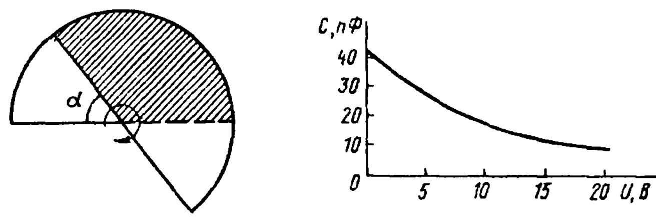


Рис. 3 К задачам 44, 50, 727 Рис. 4. К задачам 45, 355, 1130

46. Определить энергию электрического поля конденсатора емкостью 10 мкФ при напряжении на пластинах 100 В. Найти работу, совершаемую при перемещении заряда с одной пластины на другую, если напряжение на них неизменно.

47. Энергия электрического поля конденсатора при напряжении 100 В составляет 5 мДж. Определить энергию поля конденсатора при напряжениях 250, 500, 750 В.

48. Сколько пластин площадью 10^{-2} м^2 надо собрать, чтобы получить конденсатор емкостью 1 мкФ, если в качестве диэлектрика применена лакоткань толщиной 0,05 мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 50$?

49. Чему равна емкость переменного конденсатора, если площадь перекрытия равна 50, 30% при условии, что при 100 %-ном перекрытии напряжение на пластинах 100 В и энергия поля конденсатора 0,1 Дж?

50. Ось конденсатора переменной емкости (см. рис. 3) вращается ручкой настройки с частотой $\omega = 2^1/c$ Как изменяется емкость конденсатора за 1 с, если радиус подвижной и неподвижной пластин конденсатора составляет 30 мм, а расстояние между ними 0,1 мм?

51. Для изготовления цилиндрического конденсатора используются полоски фольги и полиэтиленовой пленки одинаковой ширины — 20 мм. Какой длины необходимо взять пленку и фольгу, чтобы получить емкость конденсатора 2 пФ? Толщина полиэтиленовой пленки 0,1 мм.

52. В качестве диэлектрика плоского конденсатора применяется слюда площадью 100 мм^2. Какой минимальной толщины может быть диэлектрик, если конденсатор должен быть рассчитан на напряжение 250 В? Найти емкость конденсатора.

53. Между двумя заряженными пластинами конденсатора существует электрическое поле, которое исчезло, когда пластины соединили проволокой. В какой вид энергии преобразовалась энергия электрического поля?

54. Объяснить принцип действия электролитического конденсатора и перечислить основные материалы, которые используются при его изготовлении.

55. При включении электролитического конденсатора в цепь была нарушена полярность, указанная в его маркировке. Пояснить потерю емкостных свойств конденсатора, происшедшую в результате этого нарушения.

56. Какими свойствами должны обладать материалы пластин и диэлектриков плоских, цилиндрических и электролитических конденсаторов? Какие типы конденсаторов используются в современной электротехнике?

Глава II
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

§ 4. Постоянный ток

Постоянным называется электрический ток, числовое значение и направление которого не меняются в зависимости от времени.

Ток (А) определяется количеством электричества q, проходящего через поперечное сечение проводника за единицу времени:

$$I = q/t. \tag{11}$$

Плотность тока ($А/м^2$) представляет собой отношение тока к площади поперечного сечения проводника:

$$j = I/S = q_e n v, \qquad (12)$$

где n — количество свободных электронов в единице объема; v — средняя скорость направленного движения электронов, м/с.

ЗАДАЧИ

57. Вычислить площадь поперечного сечения проводника при плотности тока 1 $А/мм^2$, если ток равен 10 А.

58. Чему равен диаметр металлической проволоки, по которой течет ток 2 А, а плотность тока составляет 0,2 $А/мм^2$?

59. Сколько электронов участвует в создании тока 2 мА в течение 0,1 с? Найти совершаемую при этом работу, если к проводнику приложено напряжение 24 В.

60. Определить среднюю скорость направленного движения электронов в проводнике сечением 10 $мм^2$, в котором протекает ток 1 мА, при числе заряженных частиц в единице объема $2 \cdot 10^{22}$.

61. Проводник изготовляется с допуском на диаметр $\pm 0{,}5$ %. С какой погрешностью может быть вычислена плотность тока в этом проводнике?

62. Как должен изменяться заряд, проходящий через поперечное сечение проводника, в течение времени, чтобы скорость изменения тока была равна: а) нулю; б) постоянному значению?

63. Найти связь между кулоном и применяемой на практике (для аккумуляторов и гальванических элементов) единицей заряда «ампер-час».

§ 5. Резисторы

Сопротивление (Ом) металлического проводника, в том числе металлического резистора, определяют по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S}, \qquad (13)$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, Ом·м; l — длина, м; S — площадь поперечного сечения, $м^2$.

Зависимость сопротивления резисторов от температуры в рабочем интервале температур является линейной функцией:

$$R = R_0[1 + \alpha_T(T - T_0)], \qquad (14)$$

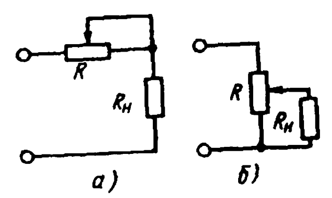


Рис. 5. Схемы включения переменных резисторов; к задаче 86

где R_0 — сопротивление резистора при температуре T_0, Ом; α_T — температурный коэффициент сопротивления, 1/К.

Распространенные схемы включения переменных резисторов показаны на рис. 5 *а*, *б*.

ЗАДАЧИ

64. Как изменится сопротивление резистора: а) при увеличении его длины в 2 раза; б) при уменьшении площади поперечного сечения провода в 3 раза; в) при одновременном увеличении длины в 4 раза, а диаметра провода в 2 раза?

65. Определить минимальный диаметр медной проволоки длиной 100 м, если ее сопротивление не должно превышать 1 Ом. Чему равно сопротивление 1 м медной проволоки ∅ 0,5 мм?

66. Найти сопротивление вольфрамовой нити длиной 10 м и ∅ 0,1 мм. Каково сечение стальной проволоки, если ее сопротивление 2 Ом, а длина 10^3 м?

67. Какое удельное сопротивление должен иметь материал проволоки ∅ 1 мм, чтобы при длине 500 м его сопротивление не превышало 20 Ом?

68. Определить сопротивление резистора, обмотка которого выполнена из нихромового провода ∅ 0,1 мм, намотанного в один ряд виток к витку на керамический каркас длиной 0,1 м и ∅ 4 мм.

69. Сколько метров проволоки из нихрома ∅ 1 мм потребуется для изготовления переменного резистора сопротивлением 10 Ом?

70. Определить сопротивление резистора (рис. 6), если на каркас намотано 100 витков нихромовой проволоки ∅ 1 мм, а конструктивные параметры каркаса соответственно равны: $a = 10$ мм; $\alpha = 60°$.

71. При увеличении длины провода на 100 м сопротивление его возросло в 3 раза. Найти первоначальную длину провода.

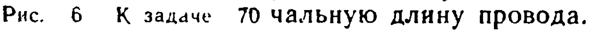


Рис. 6 К задаче 70



72. Для двух резисторов была выбрана проволока одной и той же длины, изготовленная из одного материала. При каком соотношении диаметров проволок сопротивление одного из резисторов будет: а) в 3 раза меньше; б) в 4 раза больше; в) в 10 раз больше сопротивления другого резистора?

73. Найти сопротивление медного электрода станка для точечной электросварки, который имеет вид усеченного конуса (рис. 7, *а*) с диаметрами оснований $D=100$ мм, $d=40$ мм и длиной $l=200$ мм. Эквивалентное сечение электрода считать равным полусумме площадей оснований конуса.

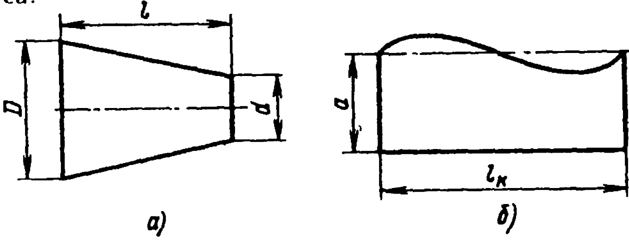


Рис. 7. *а* — к задачам 73, 246; *б* — к задаче 74

74. На рис. 7, *б* приведена конструкция каркаса переменного резистора, на который виток к витку наматывается нихромовый провод ∅ 0,1 мм. Определить сопротивление резистора, если $l_к=40$ мм, $a=15$ мм. Верхний профиль каркаса представляет собой синусоиду, сечение каркаса толщиной $b=5$ мм прямоугольное.

75. При измерениях было установлено, что переменный резистор, изготовленный из проволоки длиной 10 м и ∅ 0,6 мм, имел сопротивление 50 Ом. Из какого металла или сплава был изготовлен резистор?

76. Медная электрическая проводка была заменена на алюминиевую такой же длины и сопротивления. Определить соотношение между сечениями проводов. Найти экономию в массе, полученную при замене медного провода алюминиевым.

77. Чему равно сопротивление резистора при температуре среды $T=350$ K, если при $T_0=300$ K его сопротивление 10 кОм, а температурный коэффициент сопротивления $\alpha_T=2\cdot10^{-3}$ 1/K?

78. Каков температурный коэффициент резистора, если при изменении температуры среды на 100 K его сопротивление изменилось на 100 Ом? Номинальное значение сопротивления 1 кОм.

79. Сопротивление резистора при температуре $T_1 = 323$ K составляет 270 Ом, а при температуре $T_2 = 353$ K—275 Ом. Найти температурный коэффициент резистора и его сопротивление при температуре $T_3 = 293$ K.

80. Переменный металлический резистор сопротивлением от 0 до 1 кОм подключен к источнику питания 20 В. Какой ток будет проходить через резистор, если: а) под напряжением все витки; б) подвижный контакт посередине; в) под напряжением 80% витков; г) под напряжением 20% витков?

81. Определить напряжение на выходе делителя напряжения, который подключен к источнику питания 10 В, в следующих случаях: а) напряжение снимается со всего делителя напряжения; б) напряжение снимается с половины витков делителя напряжения; в) напряжение снимается с 1/4 витков делителя напряжения.

82. Назовите основные факторы, влияющие на удельное электрическое сопротивление и температурный коэффициент сопротивления металлов.

83. Используя приведенные в приложении 3 основные характеристики проводниковых материалов, определить, какие из них необходимо выбирать для: а) соединительных и монтажных проводов; б) обмоток электрических машин и трансформаторов; в) переменных резисторов; г) электронагревательных приборов и паяльников.

§ 6. Законы электрических цепей постоянного тока

Закон Ома для участка цепи, устанавливающий связь между током, проходящим через проводник, и напряжением на концах этого проводника, имеет следующий вид:

$$U = RI \qquad (15)$$

Величина, обратная сопротивлению участка цепи R (Ом), носит название электропроводности или проводимости g (См).

Энергия электрического тока (Дж) определяется по следующей формуле:

$$W = UIt. \qquad (16)$$

Мощность электрического тока (Вт) можно найти по одному из трех следующих выражений, применяемых в зависимости от условий исследуемой цепи:

$$P = UI = I^2R = U^2g. \qquad (17)$$

Мощность в системе передачи электроэнергии, состоящей из источника электроэнергии, линии передачи и некоторой нагрузки, определяется так:

$$UI = I^2R_л + U_нI, \quad (18)$$

где UI — мощность, отдаваемая источником электроэнергии; $I^2R_л$ — мощность потерь в проводах линии (на нагревание); $U_нI = P_н$ — мощность, потребляемая нагрузкой.

Простейшую электрическую цепь постоянного тока (рис. 8, *а*) при замкнутом ключе *К* можно разделить на источник электрической энергии и потребитель.

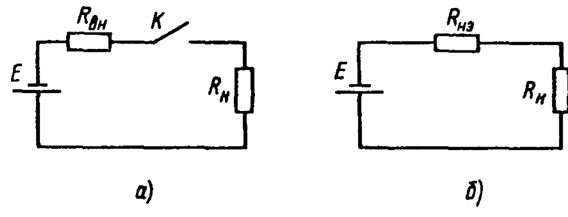


Рис 8 *а*—простейшая цепь постоянного тока, к задачам 105, 107, 111, *б*—простейшая цепь постоянного тока с нелинейным элементом, к задачам 122, 123, 124

Источник характеризуется внутренним сопротивлением $R_{вн}$ и электродвижущей силой (эдс) *E*, которая численно равна напряжению на выводах источника при разомкнутой цепи, а потребитель представляет собой электрическую цепь $R_н$, подключенную к выводам источника.

С учетом внутреннего сопротивления источника ток определяется по закону Ома для полной цепи:

$$I = E/(R_{вк} + R_к), \quad (19)$$

где *E* — эдс источника, В.

Наряду с законом Ома основными законами цепей постоянного тока являются законы Кирхгофа.

1-й закон Кирхгофа формулируется следующим образом: алгебраическая сумма токов в узле равна нулю, т. е.

$$\Sigma I = 0 \quad (20)$$

2-й закон Кирхгофа: алгебраическая сумма эдс равна алгебраической сумме напряжений, т. е.

$$\Sigma E = \Sigma U. \quad (21)$$

На законах Кирхгофа основываются методы расчета цепей постоянного тока.

Для элементов цепей с нелинейной вольт-амперной характеристикой $I=f(U)$ ток не пропорционален приложенному напряжению. Простейшая цепь с нелинейным элементом приведена на рис. 8, б. Ток и напряжение в нагрузке цепи определяются пересечением вольт-амперной характеристики нелинейного элемента и нагрузочной прямой:

$$U=E-IR_{н} \qquad (22)$$

При практических расчетах используется следующее выражение, позволяющее определить потерю напряжения (В) в линии передачи:

$$\Delta U=I\rho 2l/S, \qquad (23)$$

где ρ — удельное сопротивление материала проводов, Ом·м; $2l$ — общая длина линии, м; S — сечение проводов, м^2

ЗАДАЧИ

84. Определить ток в проводнике, к которому приложено напряжение 10 В, если его сопротивление равно: 10, 20 и 100 кОм, 1 МОм. Рассчитать сопротивление проводника, к которому было приложено напряжение 1 В, а ток равен: 0,1 А, 10 мА, 10 мкА.

85. Какое максимальное напряжение можно приложить к проводнику сопротивлением 1 кОм, если ток не должен превышать 0,2 А? Найти максимальное напряжение, если мощность не должна превышать 2 Вт.

86. В каких пределах можно изменять ток в нагрузке цепи на рис. 5, *а* и напряжение на нагрузке в цепи на рис. 5, *б*? Найти ток в цепи на рис. 5, *а*, если $E=12$ В, $R=R_{н}=100$ Ом, а подвижный контакт находится посередине.

87. На рис. 9 приведены зависимости тока от напряжения для пяти резисторов. Указать сопротивления каждого из резисторов.

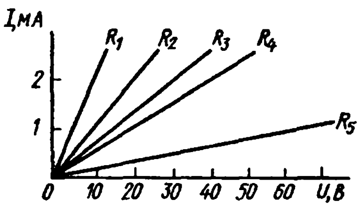


Рис 9. К задаче 87

88. В маркировке резисторов одной партии указано номинальное сопротивление 27 кОм±10%. Каков разброс значений тока резисторов этой партии при приложенном напряжении 10 В?

89. Определить общую энергию, потребляемую резистором за время t_1, если его ток изменяется во времени по уравнению $i = I_0(1 + t)$.

90. При напряжении U в проводнике выделялась мощность P. Как надо изменить сопротивление проводника, чтобы мощность в нем не изменилась: 1) при увеличении приложенного напряжения в 2 раза; 2) при уменьшении напряжения в 3 раза?

91. В проводнике при напряжении 90 В мощность равна 15 Вт. Какая мощность будет в проводнике при напряжениях 70, 130 В?

92. Напряжение нагрузки меняется в диапазоне $100\ \text{В} > U > 50\ \text{В}$, а ток — в диапазоне $40\ \text{мА} > I > 10\ \text{мА}$. Определить диапазоны изменения мощности нагрузки.

93. Мощность, выделяемая на переменном резисторе, не должна превышать 1 Вт. Определить максимальные токи и напряжения резисторов при его сопротивлениях 10 и 2,5 кОм, 625 Ом.

94. Линия передачи электроэнергии подключена к источнику напряжением 450 В. Определить мощность потерь в линии, если ток 200 А, а сопротивление нагрузки 2,2 Ом. Найти сопротивление линии.

95. Каково напряжение на выводах источника эдс, подключенного к нагрузке 10 Ом, если длина медной соединительной проволоки ⌀ 1 мм равна 100 м и ток в цепи 0,1 А?

96. Рассчитать длину нихромовой проволоки, намотанной в виде катушки, если при подключении катушки к источнику, эдс которого 12 В, в ней возник ток 0,12 А. Сечение проволоки принять равным 0,55 мм^2, внутренним сопротивлением источника пренебречь.

97. При включении нагрузки разность потенциалов на выводах источника эдс стала 9 В, при этом ток в цепи был 1,5 А. Определить сопротивление нагрузки и внутреннее сопротивление источника, если его эдс 15 В.

98. Найти внутреннее сопротивление источника и его эдс, если при сопротивлении нагрузки 1 Ом ток равен 1 А, а при сопротивлении нагрузки 2,5 Ом ток равен 0,5 А.

99. Ток в нагрузке, сопротивление которой 1,5 кОм, не должен превышать 10 мА. Какое сопротивление должен иметь добавочный резистор, который надо подключить к нагрузке, при использовании источника питания с эдс 20 В и внутренним сопротивлением ≈ 0?

100. Цепь нагрузки сопротивлением 1 кОм подключена

к источнику с эдс 100 В и внутренним сопротивлением 100 Ом. Температура среды 293 К. На сколько изменится ток в цепи при температуре 393 К, если соединительные провода медные и их сопротивление при 293 К равно 50 Ом?

101. Чему должен быть равен диаметр соединительных проводов длиной 200 м, чтобы ток был не менее 0,8 А в нагрузке сопротивлением 100 Ом при подключении ее к источнику питания с эдс 100 В и внутренним сопротивлением 10 Ом?

102. Определить эдс и внутреннее сопротивление источника питания, если в режиме холостого хода напряжение на выводах 15 В, а в режиме короткого замыкания ток 0,5 А. Найти ток в этой цепи при подключении резистора сопротивлением 120 Ом.

103. Рассчитать напряжение на выводах источника с эдс 100 В, если внутреннее сопротивление источника в 5 раз меньше сопротивления нагрузки.

104. Источник энергии с эдс 11 В и внутренним сопротивлением 1 Ом замкнут на нагрузку сопротивлением 20 Ом. Найти: а) ток в цепи; б) падение напряжения во внешней цепи; в) падение напряжения внутри источника; г) кпд цепи.

105. Какое внутреннее сопротивление должен иметь источник в электрической цепи (рис. 8, *а*), чтобы кпд был не менее 91%? Сопротивление резистора нагрузки составляет 2 кОм.

106. Какая мощность расходуется в соединительных проводах, если напряжение на резисторе нагрузки составляет 80 В, а ток в цепи 40 мА? Электрическая цепь подключена к источнику с эдс 100 В и внутренним сопротивлением 490 Ом.

107. В простейшей электрической цепи (рис. 8, *а*) при токе 2 А напряжение на нагрузке составляло 10 В, а при токе 1 А — 12 В. Найти эдс и внутреннее сопротивление источника питания.

108. При увеличении сопротивления нагрузки от 5 до 10 кОм ток в цепи уменьшился в 2 раза. Чему равны эдс и внутреннее сопротивление источника, если первоначальный ток был равен 10 мА?

109. В цепи на рис. 10 источник электрической энергии замыкают

Рис. 10. К задаче 109

сначала на нагрузку сопротивлением $R_{н1} = 4$ Ом, а затем на нагрузку сопротивлением $R_{н2} = 1$ Ом. Найти эдс источника и его внутреннее сопротивление, если известно, что в каждом из этих случаев мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова и равна 0,5 Вт.

110. При изменении сопротивления нагрузки на 100 Ом ток в цепи уменьшается на 10 мА. Вычислить первоначальное сопротивление нагрузки, если она подключена к источнику с эдс 20 В и внутренним сопротивлением 50 Ом.

111. Для простейшей электрической цепи (рис. 8, *а*) заданы напряжение холостого хода $U_{хх} = 24$ В и ток короткого замыкания $I_{кз} = 0{,}8$ А. Выбрать такое сопротивление $R_{н}$, чтобы кпд был равен 95%. Найти мощность цепи при этой нагрузке.

112. Построить вольт-амперные характеристики внутреннего и внешнего участков цепи постоянного тока, состоящей из источника с эдс 10 В и внутренним сопротивлением 20 Ом и переменного резистора нагрузки сопротивлением 100 Ом, и определить ток и напряжение нагрузки. Найти напряжения на переменном резисторе нагрузки при токах 10, 50, 80 мА.

113. При каком соотношении сопротивления нагрузки и внутреннего сопротивления источника эдс мощность, выделяемая в нагрузке простейшей цепи постоянного тока, будет максимальной? Построить график зависимости мощности, выделяемой в нагрузке, от ее сопротивления.

114. В простейшую цепь постоянного тока включен источник с эдс E и внутренним сопротивлением $R_{вн}$. Определить напряжение на выводах источника, ток в цепи, мощность, выделяемую во внешнем и внутреннем участках цепи, мощность, развиваемую источником, а также его кпд: а) в режиме холостого хода; б) в режиме короткого замыкания; в) в режиме, когда $R_{н} = R_{вн}$.

115. Эдс источника питания цепи постоянного тока равна E, а его внутреннее сопротивление $R_{вн}$. Начертить графики изменения напряжения на выводах источника тока в цепи, мощности, выделяемой во внешнем и внутреннем участках цепи, мощности, развиваемой источником, а также его кпд в зависимости от сопротивления внешней цепи.

116. При расчете цепи постоянного тока методом контурных токов были получены следующие уравнения:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ E_1 = I_1 R - I_2 R \\ E_2 = I_2 R - I_3 R \end{cases}$$

Считая параметры $E_1=E_2=E$ и R заданными, найти значения токов I_1, I_2 и I_3. Составить принципиальную электрическую схему цепи.

117. Используя метод контурных токов, найти токи I_1, I_2 и I_3 в цепях на рис. 11, *а, б**, если $E=15$ В, а $R=2$ Ом.

118. Используя метод узловых потенциалов, найти токи I_1, I_2 и I_3 в цепях на рис. 11, *а* и *б*, если $E=15$ В, а $R=2$ Ом.

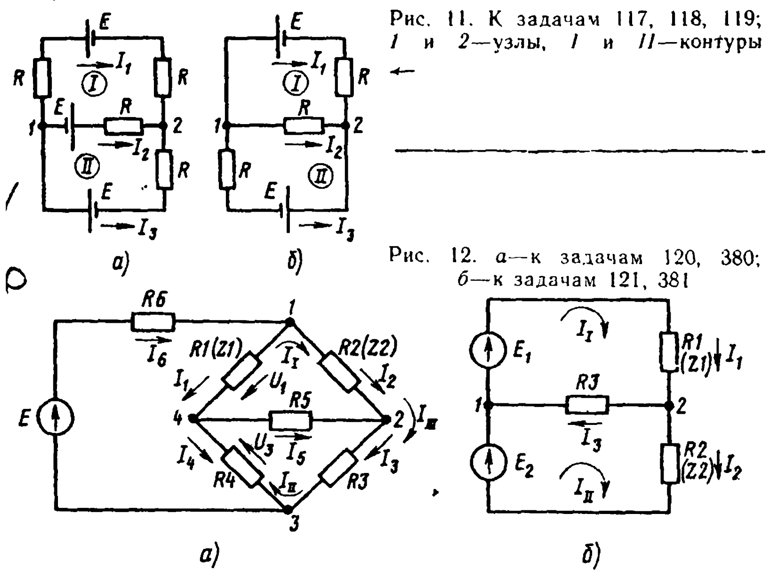


Рис. 11. К задачам 117, 118, 119; *1* и *2*—узлы, *I* и *II*—контуры

Рис. 12. *а*—к задачам 120, 380; *б*—к задачам 121, 381

119. Используя метод эквивалентного генератора, определить токи I_1, I_2 и I_3 в цепях на рис. 11, *а* и *б*, если $E=15$ В, а $R=2$ Ом.

120. Найти ток в диагонали мостовой схемы на рис. 12, *а*, если $E=15$ В, $R_6=5$ Ом; $R_4=R_5=25$ Ом; $R_1=8$ Ом; $R_2=15$ Ом; $R_3=4$ Ом. При каком сопротивлении резистора R_3 и тех же значениях сопротивлений других резисторов ток в диагонали будет равен нулю?

121. Два источника постоянного тока E_1 и E_2 включены в дифференциальную схему, как показано на рис. 12, *б*. Найти ток в нагрузке R_3, если $E_1=110$ В, $E_2=60$ В, $R_1=10$ Ом; $R_2=5$ Ом; $R_3=20$ Ом. При

*При решении задач 117, 118, 119 внутренним сопротивлением источников электрической энергии пренебречь.

каком соотношении сопротивлений R_1 и R_2 ток в нагрузке равен нулю?

122. В электрической цепи на рис. 8, *б* нелинейный элемент имеет вольт-амперную характеристику $I = kU^{3/2}$, где $k = 10$ мА/В$^{3/2}$ Определить напряжение, статическое и дифференциальное сопротивления и выделяемую мощность, если ток в цепи 10, 40, 100 мА.

123. В простейшей электрической цепи постоянного тока (см. рис. 8, *б*) нелинейный элемент имеет вольт-амперную характеристику, приведенную на рис. 13, *а*. Цепь подключена к источнику с эдс $E = 15$ В,

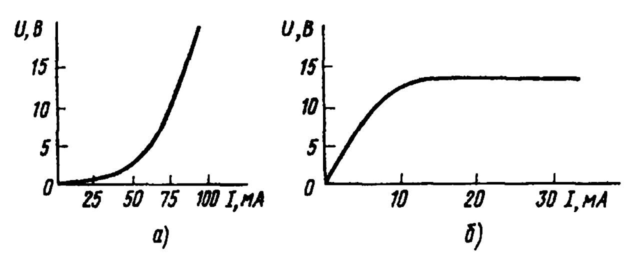


Рис. 13. *а*—к задачам 123, 125, 128, 150; *б*—к задачам 124, 126, 128, 150

сопротивление нагрузки $R_н = 150$ Ом. Найти ток в цепи и напряжения на нелинейном элементе и нагрузке.

124. В простейшей электрической цепи постоянного тока (см. рис. 8, *б*) нелинейный элемент имеет вольт-амперную характеристику, приведенную на рис. 13, *б*. Найти ток в цепи и напряжения на нелинейном элементе и нагрузке, если $E = 15$ В, $R_н = 250$ Ом.

125. Определить статическое и дифференциальное сопротивления, выделяемую мощность нелинейного элемента, вольт-амперная характеристика которого приведена на рис. 13, *а*, при напряжениях 5, 10, 15 В.

126. Определить статическое и дифференциальное сопротивления, выделяемую мощность нелинейного элемента, вольт-амперная характеристика которого приведена на рис. 13, *б*, при токах в цепи 5, 10, 20 мА.

127. Доказать, что для нелинейных элементов, вольт-амперная характеристика которых аппроксимируется степенной функцией, отношение дифференциального и статического сопротивлений есть величина постоянная, равная показателю степени.

128. Как следует включить нелинейные элементы с вольт-амперными характеристиками на рис. 13 по

отношению к резистору нагрузки, если требуется: а) постоянство напряжения нагрузки; б) постоянство тока в цепи?

129. Медные провода в двухпроводной линии электропередачи длиной 1 км рассчитаны на допустимую плотность тока 4 А/мм^2. Определить потерю напряжения в линии при токе $I_н = 0{,}75$, $I_{доп} = 24$ А.

130. Рассчитать сечение алюминиевых проводов в двухпроводной линии электропередачи длиной 5 км, чтобы при токе в линии 1 А потеря напряжения в ней не превышала 20 В.

§ 7. Последовательное, параллельное и смешанное соединения потребителей и источников электрической энергии

При последовательном соединении резисторов эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений резисторов:

$$R_{экв} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n. \qquad (24)$$

В последовательной цепи общий ток равен току каждого резистора. Напряжение на двух последовательно соединенных резисторах делится в отношении

$$U_1/U_2 = R_1/R_2. \qquad (25)$$

При параллельном соединении резисторов эквивалентная проводимость цепи равна сумме проводимостей резисторов:

$$\frac{1}{R_{экв}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}. \qquad (26)$$

В параллельной цепи напряжение на каждом резисторе равно напряжению, приложенному ко всей цепи. Токи двух параллельно соединенных резисторов делятся в отношении

$$I_1/I_2 = R_2/R_1. \qquad (27)$$

На практике включение одного источника электрической энергии может быть недостаточным. Исходя из выражения (19), нетрудно убедиться, что для повышения напряжения во внешней цепи необходимо увеличить эдс источника, а для увеличения тока — уменьшить его внутреннее сопротивление. Это достигается последовательным и параллельным включением источника питания.

Закон Ома для полной цепи при включении n источников питания запишется так:

для последовательного включения

$$I = En/(R_н + nR_{вн}),\qquad (28)$$

для параллельного включения

$$I = E/(R_н + R_{вн}/n).\qquad (29)$$

При смешанном соединении потребителей и источников используются свойства последовательного и параллельного соединений, а также правила преобразования электрических схем.

ЗАДАЧИ

131. Цепь, состоящая из двух последовательно соединенных резисторов сопротивлением 15 Ом и 25 Ом, подключена к источнику питания с $E = 15$ В и $R_{вн} = 5$ Ом. Найти напряжение на каждом резисторе.

132. Общий ток цепи, состоящий из двух параллельно соединенных резисторов сопротивлением 210 и 70 Ом, равен 80 мА. Найти токи каждого резистора.

133. Последовательно с резистором сопротивлением 30 Ом включен переменный резистор (рис. 5, *а*). В среднем положении подвижного контакта переменного резистора устанавливается ток 2 А. Каковы будут ток в цепи и напряжение на резисторе при крайних положениях подвижного контакта, если цепь подключена к источнику с эдс 100 В и внутренним сопротивлением 5 Ом?

134. Цепь состоит из двух параллельно соединенных резисторов сопротивлением 10 Ом каждый, и по одному из резисторов проходит ток 1 А. Чему будет равен этот ток при обрыве цепи другого резистора, если внутреннее сопротивление источника 1 Ом?

135. Определить сопротивление резистора, который необходимо включить параллельно с резистором, имеющим сопротивление 15 кОм, при условии, чтобы эквивалентное сопротивление всей цепи составляло 10 кОм.

136. Найти эквивалентные сопротивления цепей на рис. 14, если сопротивления резисторов одинаковы и равны $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 60$ Ом. Найти токи и напряжения на резисторах R_1, если цепи подключены к источнику с $E = 15$ В и $R_{вн} = 0$.

137. В электрической цепи, изображенной на рис. 14, *б*, сопротивления резисторов равны: $R_1 = 50$ Ом; $R_2 = 120$ Ом; $R_3 = 200$ Ом. Определить: мощность, выделяемую в ре-

зисторе $R1$; ток в резисторе $R3$; напряжение на резисторе $R1$, если приложенное напряжение равно 120 В.

138. Найти эквивалентное сопротивление цепи на рис. 15, используя правила преобразования электрических схем, если $R_1=R_3=R_7=5$ Ом; $R_2=R_4=R_5=6$ Ом; $R_6=R_9=R_{11}=10$ Ом; $R_8=R_{10}=4$ Ом.

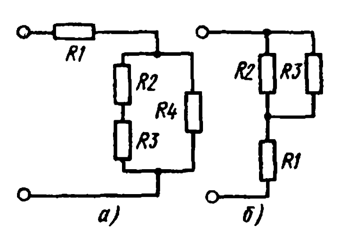


Рис 14. *а*—к задачам 136, 653, *б*—к задачам 136, 137, 653

Рис 15 К задаче 138

139. Сопротивления пяти резисторов соответственно равны: 100, 330, 670, 1000, 1500 Ом. При их последовательном соединении напряжение на резисторе сопротивлением 100 Ом составило 10 В, а при параллельном соединении ток в этом резисторе был равен 0,1 А. Определить напряжения и токи для всех резисторов в обоих случаях.

140. При параллельном подключении к резистору $R1$ резистора $R2$ сопротивлением 5 кОм общее сопротивление цепи стало 3 кОм. Чему будет равно эквивалентное сопротивление цепи, если к резистору $R1$ подключить резисторы сопротивлением 1; 3; 7,5 кОм?

141. Одна цепь состоит из резисторов, соединенных последовательно, а другая — соединенных параллельно, причем количество резисторов и их сопротивления одинаковы. В каком случае эквивалентное сопротивление будет больше?

142. Какое должно быть соотношение сопротивлений двух резисторов, чтобы их эквивалентное сопротивление при последовательном соединении было в 4 раза больше эквивалентного сопротивления при параллельном соединении?

143. Доказать, что эквивалентное сопротивление двух параллельно подключенных резисторов не может быть больше сопротивления любого из них.

144. На практике существует наглядный и простой способ графического расчета сопротивления двух па-

раллельно соединенных резисторов: к произвольному отрезку ab восстанавливаются в точках a и b перпендикуляры, длина которых соответствует в определенном масштабе сопротивлениям резисторов (рис. 16). Доказать, что эквивалентное сопротивление соответствует отрезку ef.

145. В каком случае цепь из n одинаковых резисторов будет потреблять бо́льшую энергию от источника питания: при их параллельном или последовательном подключении?

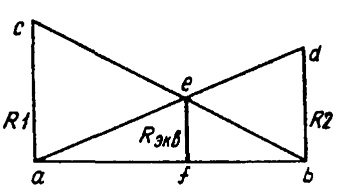


Рис 16 К задачам 144, 433

146. В цепь последовательно включены три резистора с номинальными сопротивлениями и допусками на них: 5 кОм ± 5%; 7,5 кОм ± 3%; 8 кОм ± 5%. Определить номинальное сопротивление цепи и погрешность его нахождения.

147. В цепь параллельно включены три резистора с номинальными сопротивлениями и допусками на них: 1,5 кОм ± 5%; 2,5 кОм ± 1%; 3,2 кОм ± 3%. Найти номинальное сопротивление цепи и погрешность его определения.

148. Чему равно эквивалентное сопротивление цепи из десяти последовательно включенных резисторов, если сопротивление каждого из них больше на 100 Ом предыдущего, а сопротивление первого резистора 1 кОм? Найти напряжение на пятом резисторе, если напряжение питания цепи 14,5 В.

149. Определить эквивалентное сопротивление цепи из двенадцати параллельно подключенных резисторов, если сопротивление каждого из них в 2 раза больше предыдущего, а сопротивление первого резистора 1 кОм. Найти ток в пятой параллельной ветви, если общий ток 0,1 А.

150. Построить графики вольт-амперных характеристик цепей, состоящих из двух последовательно и параллельно соединенных нелинейных элементов, вольт-амперные характеристики которых приведены на рис. 13. Какое соединение необходимо выбирать, если требуется: а) постоянство напряжения цепи; б) постоянство тока в цепи?

151. Определить напряжение на нагрузке при питании ее четырьмя последовательно соединенными батареями

с эдс 6 В и внутренними сопротивлениями 20 Ом, если ток в цепи 0,1 А.

152. Нагрузка, сопротивление которой 100 Ом, была подключена к источнику питания с эдс 10 В и внутренним сопротивлением 10 Ом. На сколько возрастет ток в нагрузке, если параллельно к цепи подключить еще один источник питания с такими же параметрами?

153. Какое количество источников с эдс 10 В и внутренним сопротивлением 35 Ом необходимо для создания тока 0,2 А в нагрузке сопротивлением 45 Ом? Решить задачу для последовательного и параллельного соединений источников эдс.

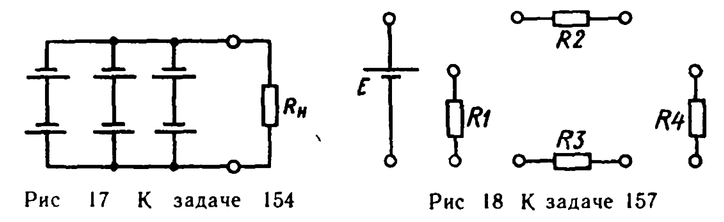


Рис 17 К задаче 154

Рис 18 К задаче 157

154. Источником питания цепи постоянного тока является батарея, схема которой приведена на рис. 17. Определить эдс и внутреннее сопротивление источника, а также ток в нагрузке сопротивлением 100 Ом, если эдс и внутреннее сопротивление каждого элемента равны соответственно 1,1 В и 1,5 Ом.

155. При каком отношении внутреннего сопротивления батареи $R_{вн}$ и сопротивления нагрузки $R_н$ для ее питания требуется одинаковое количество батарей как при их последовательном, так и при параллельном включении, учитывая, что ток нагрузки в обоих случаях одинаков?

156. Доказать, что при $R_н \gg R_{вн}$ питание цепи более эффективно осуществлять с помощью последовательного соединения батарей, а при $R_н \ll R_{вн}$ — с помощью параллельного соединения.

157. Начертить схему: а) последовательного; б) параллельного присоединения четырех резисторов к источнику электрической энергии (рис. 18).

§ 8. Тепловое действие тока

Количество теплоты (Дж), выделяемой в проводнике при прохождении через него электрического тока, определяется законом Джоуля — Ленца:

$$Q = RI^2t = \frac{U^2}{R}t = UIt \quad (30)$$

Под действием теплоты резисторы нагреваются и температура их рабочего тела превышает температуру среды:

$$T = T_0 + \frac{1}{b}UI, \quad (31)$$

где T и T_0 — температура рабочего тела и среды; b — коэффициент рассеивания выделяемой мощности, Вт/К.

Коэффициент рассеивания зависит от конструкции элемента и свойств окружающей среды.

ЗАДАЧИ

158. Какое количество теплоты выделяется в проводнике, имеющем сопротивление 10 Ом, в течение 60 с при токе 1 А?

159. В течение 10 с в проводнике выделилось количество теплоты, равное $5 \cdot 10^3$ Дж. Чему равен ток, если сопротивление проводника 1 кОм?

160. Найти максимальное сопротивление паяльника, если при включении в сеть 220 В мощность его должна быть не менее 25 Вт. Какое количество теплоты выделяется в паяльнике в течение 1 ч?

161. Какова стоимость энергии, потребляемой электропечью в течение 20 ч, если ее сопротивление 20 Ом, напряжение сети 127 В, стоимость 1 кВт·ч энергии 4 коп.? Определить стоимость электроэнергии, потребляемой электропечью мощностью 1 кВт за 25 ч.

162. Для нагрева среды в термостате в течение 15 мин необходима теплота 200 кДж. На какую мощность должен быть рассчитан электронагреватель термостата, если его кпд равен 67,3%? Определить ток, если нагреватель подключен к сети 220 В.

163. Четыре резистора включены по схемам рис. 19, *а*, *б*. В каком из резисторов выделяется большее количество теплоты? Сопротивления резисторов равны: $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 4$ Ом; $R_3 = 4$ Ом; $R_4 = 8$ Ом.

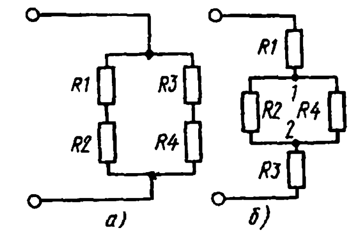


Рис 19 *а*—к задачам 163, 575; *б*—к задачам 163, 588

164. В цепь включены параллельно медная и сталь-

ная проволоки. В какой из проволок выделится большее количество теплоты за одно и то же время, если они равной длины и сечения?

165. Электрический кипятильник использовался для нагрева 2 л воды в емкости. Определить ток и мощность кипятильника, если вода в емкости закипела через 10 мин после его включения, а на нагревание воды затратилось 70% потребляемой кипятильником мощности. Напряжение сети 220 В, начальная температура воды 293 К.

166. Найти первоначальный ток и количество теплоты, выделяемой за 1 с проводником сопротивлением 10 Ом, если при изменении тока на 1 А количество выделяемой теплоты увеличилось в 4 раза.

167. При токе 0,5 А количество выделяемой в проводнике теплоты составляет 10 Дж. Чему равно количество выделяемой в этом проводнике теплоты при токах 0,25; 1; 2 А? Построить график зависимости $Q=f(I)$ для значений сопротивлений проводника 10, 40, 80 Ом, выбрав диапазон изменения тока от 0 до 1 А.

168. Ток (мА) в резисторе сопротивлением 100 Ом уменьшался во времени по уравнению $i=10/(t+1)$. Определить количество теплоты, выделившейся в резисторе в течение 3 с.

169. При включении электротехнического устройства температура (К) его токонесущей части увеличилась в соответствии с уравнением $T=293+\Delta T_{max}(1-e^{-t/\tau})$. Определить температуру токонесущей части до и после включения в сеть, если в момент времени $t=\tau$ ее температура была 313 К.

170. Определить температуру нити лампы накаливания, включенной в сеть напряжением 220 В и номинальной мощностью 100 Вт, если коэффициент рассеивания 0,1 Вт/К, а температура среды 293 К. Найти статическое сопротивление лампы.

171. В цепь постоянного тока для снижения напряжения на электротехническом устройстве последовательно ему включен резистор сопротивлением 10 Ом и коэффициентом рассеивания 5 Вт/К. Определить перегрев резистора, если сопротивление устройства 15 Ом, а напряжение, подводимое к цепи, равно 110 В.

172. Во сколько раз уменьшится перегрев обмоток электротехнического устройства, если использование его конструкции с большей поверхностью охлаждения позволяет увеличить коэффициент рассеивания в 2, 3, 5 раз?

173. При токе, большем 6 А, время плавления вставки предохранителя обратно пропорционально протекающему через него току. При каких токах плавкий предохранитель отключится через 0,5; 0,1; 0,05 с, если при токе 6 А он отключается через 1 с?

174. Объяснить, допускается ли замена предохранителей, находящихся под нагрузкой, и каких именно.

175. Почему электротехнические устройства с нагревательными элементами из нихрома не рекомендуется использовать при частых переключениях напряжения питания?

176. Почему спирали из сплавов типа ферхаля и хромаля, проработавшие в электронагревательных приборах, не должны подвергаться деформации (при ремонте) в холодном состоянии?

177. Какие требования предъявляются к материалу наконечников электрических паяльников сопротивления? Назовите основные конструкции наконечников паяльников.

178. Как изменится мощность электронагревательного прибора, если часть его спирали закоротить?

179. Почему при контактной точечной сварке сварная точка образуется в контакте между деталями из листового материала и не образуется в контактах между деталями и электродами?

§ 9. Химическое действие тока

Электрический ток, проходя через растворы солей, кислот, щелочей и расплавленные соли, разлагает их на составные части. Это действие носит название электролиза, а сам электрический ток в растворе представляет собой движение ионов. Электролиз описывается двумя законами Фарадея.

1-й закон Фарадея: количество выделившегося при электролизе вещества (кг) пропорционально току и времени его прохождения:

$$m = k_э I t, \qquad (32)$$

где $k_э$ — электрохимический эквивалент данного вещества, кг/Кл.

2-й закон Фарадея: отношение электрохимического эквивалента к его химическому эквиваленту есть величина постоянная для всех веществ:

$$k_э n_А / m_А = 1/N_F, \qquad (33)$$

где n_A — валентность атомов; m_A — атомная масса; $N_F = 96\,400$ Кл/моль — универсальная постоянная Фарадея.

Преобразование химической энергии в электрическую используется в батареях и аккумуляторах, являющихся основными источниками постоянного тока. Различные аккумуляторы характеризуются максимальным количеством электричества, которое можно получить от них без перезарядки. Эта величина носит название емкости аккумулятора (А·ч) и определяется из соотношения

$$Q = It, \qquad (34)$$

где t — время (ч), в течение которого аккумулятор может отдавать в цепь нагрузки постоянный ток I.

ЗАДАЧИ

180. Какое количество металлического серебра выделится из раствора его нитрата, если через него проходит ток 2 А в течение 30 мин?

181. За 20 мин прохождения электрического тока через ванну с раствором медного купороса на электроде выделилось 2 г меди. Найти значение тока.

182. Какой ток нужно пропустить через ванну с раствором никеля, чтобы на катоде выделилось 25 г никеля в течение 2 ч?

183. Сколько потребуется времени для никелирования предмета, опущенного в раствор соли никеля, если ток 1 А, а необходимая масса никелевого слоя 10 г? Валентность никеля равна 2.

184. Определить сопротивление раствора серной кислоты в сосуде, если площадь погруженных в него пластин $3 \cdot 10^{-3}$ м^2, расстояние между ними 0,15 м, а удельное сопротивление раствора $\rho = 1{,}5 \cdot 10^6$ Ом·мм^2/м.

185. Проходящий по электролиту ток изменился во времени по закону $i = I_0/(\alpha t + 1)$, причем в моменты времени $t_1 = 10$ с и $t_2 = 30$ с он был равен соответственно 5 и 3 А. Определить начальный ток электролита. В какие моменты времени ток будет равен 4; 1; 0,1 А? Построить график зависимости количества выделившегося при электролизе вещества от времени.

186. При увеличении тока через раствор электролита в 3 раза масса меди, выделившаяся за 10 мин, оказалась на 1 г больше, чем масса меди, выделившаяся при прежнем токе за 20 мин. Определить протекающий ток и общую массу меди.

187. Чему равен ток короткого замыкания: одного элемента; батареи из пяти параллельно соединенных элементов; батареи из пяти последовательно соединенных элементов, если эдс элемента 1,2 В, внутреннее сопротивление 0,2 Ом?

188. В качестве источника эдс в простейшей цепи постоянного тока с резистором сопротивлением 100 Ом используется аккумулятор с эдс 12 В и внутренним сопротивлением 5 Ом. Найти чувствительность тока цепи к изменению температуры среды, если при ее изменении от 293 до 303 К внутреннее сопротивление аккумулятора изменилось на 0,5 Ом. Температурным коэффициентом сопротивления резистора пренебречь.

189. Пластинки, которые необходимо покрыть слоем меди толщиной 0,5 мм, имеют конфигурации, показанные

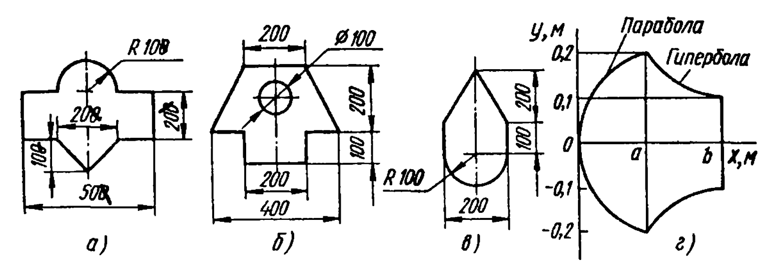


Рис. 20, *а, б, в*—к задаче 189, *г*—к задаче 191

на рис. 20, *а, б, в*. Сколько времени необходимо затратить для покрытия каждой пластинки, если ток 1 А? Валентность меди равна 2.

190. Имеются три фигуры: шар радиусом 200 мм, конус с радиусом основания 100 мм и цилиндр с радиусом основания 150 мм. Определить время, необходимое для покрытия поверхности этих фигур слоем меди толщиной 0,5 мм при токе 1 А, если известно, что объем их одинаков.

191. Определить время, которое необходимо для покрытия плоской пластины, изображенной на рис. 20, *г*, слоем никеля толщиной 0,1 мм. Ток в гальванической ванне 2 А.

192. Какое вещество выделилось на катоде в гальванической ванне в течение 40 мин массой 5,28 г при токе 4 А?

193. Во сколько раз больше время покрытия металла цинком по сравнению с покрытием его серебром слоем одинаковой массы при том же токе в гальванической ванне?

194. Электролиз технически чистой меди производился из а) раствора хлористой меди; б) раствора медного купороса. Определить, какое количество меди выделится в том и другом случаях в течение 10 мин при токе 10 А. В каком случае электролиз будет более эффективным?

195. Полученная непосредственно из руды медь при рафинировании (очистке) отливается в виде пластин и помещается в качестве анода в раствор медного купороса. При каком напряжении необходимо производить электролиз меди?

196. Электролитическое получение алюминия ведется при напряжении 5 В и плотности тока 100 А/м^2. Определить ток и общую площадь электродов, необходимые для получения 15 кг алюминия в сутки.

197. От каких параметров (нормальный потенциал, сопротивление или активная поверхность электродов) зависят эдс и внутреннее сопротивление химических источников электрической энергии?

198. В качестве анода химического источника электрической энергии был использован марганец. Какой из металлов необходимо выбрать в качестве катода, чтобы эдс элемента составила: а) +1,87 В; б) —0,29 В; в) —2,75 В?

199. До каких пор будет продолжаться процесс электролиза медного купороса, если электроды будут: а) угольные; б) медные?

200. Какое влияние оказывает характер химических реакций, происходящих в химических источниках электрической энергии, на их емкость и срок службы?

201. Как узнать по внешнему виду пластин кислотного аккумулятора, какая из них положительная, а какая отрицательная?

202. Почему при замене пластин аккумулятора во время ремонта нельзя устанавливать одновременно старые и новые пластины одной полярности?

203. В качестве источника электрической энергии для цепи постоянного тока используется батарея аккумуляторов емкостью 25 А·ч. В течение какого времени проработает аккумулятор при токе в цепи 0,1; 1; 10 А?

204. Почему при пайке стальной проволоки, применяемой без защитных покрытий, практически не используется припой с оловом?

205. Почему в электротехнических устройствах места соединений алюминиевых проводов с проводами из других металлов должны быть защищены от влаги?

206. Для защиты стального сердечника дросселя от коррозии выбор производился из следующих тонкопленочных покрытий: а) цинк; б) хром; в) никель; г) медь; д) серебро. Какие из перечисленных металлов можно использовать для антикоррозийного покрытия?

Глава III
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ И МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ

§ 10. Основные характеристики и параметры магнитного поля

На проводник с током, расположенный под углом α к силовым линиям магнитного поля, действует сила (Н):

$$F = BIl\sin\alpha, \qquad (35)$$

где B — магнитная индукция, Тл; l — длина проводника, м.

Между магнитным потоком (Вб), магнитной индукцией и поперечным сечением среды, проводящей данный магнитный поток, имеется следующая взаимосвязь:

$$\Phi = BS, \qquad (36)$$

где S — площадь поперечного сечения, м^2.

Напряженность магнитного поля H (А/м) характеризует числовое значение и направление силы, действующей в данной точке поля на единичный магнитный полюс.

Для магнитного поля в вакууме справедливы следующие соотношения:

$$B = \mu_0 H, \ \mu_0 = B/H, \qquad (37)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ — магнитная проницаемость вакуума, или магнитная постоянная, Гн/м.

Отношение магнитной индукции в различных веществах к напряженности магнитного поля называется абсолютной магнитной проницаемостью этих веществ μ_a (Гн/м). Отношение абсолютной магнитной проницаемости вещества к магнитной постоянной называется относительной магнитной проницаемостью вещества μ:

$$\mu = \mu_a/\mu_0. \qquad (38)$$

Абсолютная магнитная проницаемость ферромагнитных материалов не является постоянной величиной,

поэтому для определения индукции B при заданной напряженности H пользуются кривыми намагничивания (см. приложение 5).

ЗАДАЧИ

207. С какой силой будет действовать магнитное поле на находящийся в воздухе проводник длиной 10 м, по которому течет ток 200 А, если напряженность поля 800 А/м*?

208. Какова абсолютная магнитная проницаемость ферромагнетика, если магнитная индукция в нем 0,5 Тл при напряженности магнитного поля 2250 А/м? Рассчитать относительную магнитную проницаемость ферромагнетика.

209. На проводник с током длиной 2 м, помещенный в магнитное поле с индукцией 0,15 Тл, действует сила 3 Н. Определить ток в проводнике.

210. Найти индукцию магнитного поля, если на находящийся в нем проводник длиной 1 м, имеющий сопротивление 10 Ом, при подключении его к источнику с эдс 50 В и внутренним сопротивлением ≈ 0 действует сила 0,5 Н.

211 Какова длина проводника, помещенного в магнитное поле, если индукция 0,1 Тл, площадь поперечного сечения проводника 2 мм^2, плотность тока в проводнике 10 А/мм^2, а на проводник действует сила 0,5 Н?

212. Определить магнитный поток в сердечнике, площадь поперечного сечения которого $2 \cdot 10^{-4}$ м^2, а магнитная индукция 0,8 Тл.

213. При внесении в магнитное поле ферромагнитного бруска магнитная индукция в нем оказалась в 500 раз больше, чем магнитная индукция, создаваемая полем той же напряженности в воздухе. Чему равна абсолютная магнитная проницаемость материала бруска?

214. Для трех материалов при различных напряженностях магнитного поля были найдены значения индукции, причем зависимости $B = f(H)$ для этих материалов приведены на рис. 21. Какие из материалов обладают ферромагнитными свойствами?

---

*Везде в этом параграфе при определении силы, действующей на проводник с током, считать, что проводник расположен перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.

215. На проводник длиной 0,5 м, расположенный под углом 60° к силовым линиям поля, действует сила 0,5 Н, а при изменении угла до 135° — сила 0,4 Н. Определить индукцию магнитного поля, если ток в проводнике 10 А.

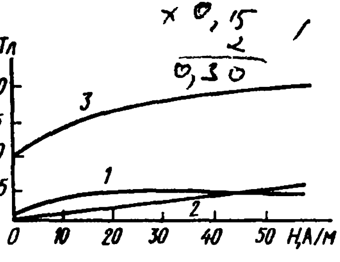


Рис. 21. К задаче 214

216. Используя кривые намагничивания, изображенные в приложении 5, построить графики зависимости абсолютной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля $\mu_a = f(H)$. Чему равна абсолютная магнитная проницаемость при напряженностях 10^3; $2 \cdot 10^3$; $3 \cdot 10^3$ А/м?

217. Какова индукция в круглых сердечниках с диаметрами сечения 20 и 30 мм, если магнитный поток составляет 10^{-4} Вб?

218. При каком соотношении диаметров двух круглых сердечников магнитный поток в одном из них при одинаковой индукции будет: а) в 5 раз меньше; б) в 4 раза больше; в) в 8 раз больше магнитного потока другого?

219. Сердечник, проводящий магнитный поток, представляет собой трубу диаметрами: внешним 30 и внутренним 25 мм. Найти магнитный поток и погрешность его определения в этом сердечнике, если индукция поля 0,3 Тл, а допуски на диаметры трубы составляют $\pm 0{,}1$ мм.

220. Плотность тока в проводнике сечением 200 мм² составляет 5 А/мм². Определить силу, действующую на этот проводник, если его длина 1 м, а магнитная индукция поля, в котором находится проводник, составляет 0,01 Тл.

221. Магнитный поток в сердечнике равен 10^{-3} Вб. Определить сечения сердечников, выполненных из материалов, кривые намагничивания которых приведены в приложении 5, при напряженности магнитного поля $2 \cdot 10^3$ А/м.

§ 11. Магнитное действие тока. Намагничивание тел. Электромагниты

Напряженность магнитного поля вокруг длинного прямого проводника при прохождении по нему тока I равна:

$$H = I/(2\pi l_a). \qquad (39)$$

где l_a — расстояние от оси проводника до точки в пространстве, в которой отыскивается напряженность магнитного поля, м.

Сила F_{12}(Н), действующая на проводник с током I_1, проходящий параллельно другому проводнику с током I_2, определяется по формуле

$$F_{12}=B_2 I_1 l, \qquad (40)$$

где B_2 — индукция магнитного поля, создаваемого током второго проводника в точке пространства, в которой находится первый проводник, Тл; l — длина параллельных проводов, м.

Сила F_{21}, действующая на второй проводник, равна силе F_{12}, действующей на первый проводник, и может быть выражена следующим образом:

$$F_{12}=F_{21}=\mu_a I_1 I_2 l/(2\pi l_a), \qquad (41)$$

где l_a — расстояние между осями проводников, м.

Проводники притягиваются, если токи в них проходят в одном направлении, и отталкиваются, если токи в них проходят в разных направлениях.

При протекании тока I по обмотке, имеющей w витков, ею развивается намагничивающая сила Iw. Напряженность магнитного поля, создаваемого этой силой, определяется по формуле

$$H=Iw/l_{ср}, \qquad (42)$$

где $l_{ср}$ — длина средней силовой линии магнитного поля, м.

Закон Ома для однородной магнитной цепи имеет вид

$$\Phi=Iw/R_м, \qquad (43)$$

где $R_м=l/\mu_a S$ — магнитное сопротивление цепи, 1/Гн; l — длина магнитопровода, м; S — площадь поперечного сечения магнитопровода, м^2.

Закон Ома можно записать в другом виде:

$$Hl=Iw. \qquad (44)$$

В общем случае для неразветвленной цепи, состоящей из нескольких участков, отличающихся сечением магнитопровода его материалом (в том числе при наличии воздушного зазора), закон полного тока имеет вид

$$Iw=H_1 l_1+H_2 l_2+H_3 l_3+\ldots+H_n l_n, \qquad (45)$$

где l_1, l_2, l_3..., l_n — длины отдельных участков магнитной цепи, м; H_1, H_2, H_3,..., H_n — магнитная напряженность этих участков, А/м.

Силу притяжения F, создаваемую электромагнитом, можно вычислить по следующей приближенной формуле:

$$F = 4 \cdot 10^5 B^2 S, \qquad (46)$$

где B — магнитная индукция, Тл; S — площадь поперечного сечения полюсов, м^2.

ЗАДАЧИ

222. Определить напряженность магнитного поля в воздухе на расстоянии 0,5 м от проводника с током, равным 10 А. Вычислить магнитную индукцию в той же точке.

223. На расстоянии 20 м от проводника с током магнитная индукция в воздухе равна $2 \cdot 10^{-7}$ Тл. Найти ток в проводнике.

224. Определить числовое значение и направление напряженности магнитного поля в точке O на рис. 22, *а, б,*

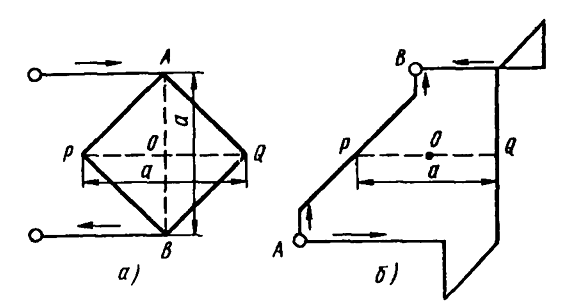


Рис 22 К задаче 224

если расстояние $a = 0{,}5$ м, а токи в ветвях APB и AQB соответственно равны 1 и 2 А. Направление токов в ветвях указано на рисунке.

225. По какой траектории должна двигаться точка в магнитном поле, создаваемом бесконечно длинным проводником с током 2 А, чтобы напряженность поля была постоянной?

226. По двум параллельным шинам длиной 20 м протекает ток до 1000 А. На каком расстоянии друг от друга нужно разместить шины, чтобы действующие на них силы не превышали 10 Н?

227. Три параллельных проводника расположены в вершинах равностороннего треугольника (см. рис. 2,б), причем расстояние между осями проводников составляет 0,2 м. Токи в проводниках одинаково направлены и соответственно равны: $I_1 = 500$ А, $I_2 = I_3 = 200$ А. Определить силу, действующую на каждый проводник, если проводники имеют одинаковую длину 10 м, а относительная магнитная проницаемость среды $\mu = 1$.

228. Два параллельных проводника с токами $I_A = 2$ А и $I_C = 3$ А находятся в одной плоскости на расстоянии 0,5 м. Найти расстояние до плоскости проводников от точки B, в которой напряженности, создаваемые токами, соответственно равны $H_A = H_C = 1$ А/м.

229. Четыре параллельных проводника длиной 10 м расположены в вершинах квадрата со стороной 0,2 м. Токи в проводниках одинаково направлены и соответственно равны: $I_A = I_B = 500$ А и $I_C = I_D = 200$ А. Определить силу, действующую на каждый из проводников, если $\mu = 1$.

230. Какое разрывающее усилие действует на каждый метр свинцовой оболочки двухжильного кабеля, если по его жилам, находящимся на расстоянии 10 мм друг от друга, протекает ток 200 А? Относительная магнитная проницаемость изоляции между проводами $\mu = 1$.

231. Какой максимальный ток можно пропустить по каждому из двух проводов, находящихся на расстоянии 0,1 м один от другого, если на каждом метре длины проводников сила давления между ними не должна превышать 8 Н? Относительная магнитная проницаемость $\mu = 1$.

232. Определить напряженность магнитного поля, создаваемого катушкой, имеющей 100 витков, если по ней течет ток 15 А, а длина средней силовой линии магнитного поля 2 м.

233. К обмотке катушки, имеющей 1000 витков, приложено постоянное напряжение 27 В. Какова намагничивающая сила катушки, если ее сопротивление 20 Ом?

234. Какова плотность тока в проводе катушки, имеющей 50 витков, если создаваемая ею намагничивающая сила 150 А, а площадь сечения провода катушки 3 мм^2?

235. По катушке ∅ 0,15 м протекает ток. Как изменится магнитный поток внутри катушки, если уменьшить ее диаметр до 0,05 м при той же длине? Каким способом можно получить в этом случае прежний магнитный поток?

236. Магнитопровод (рис. 23,*а*) имеет две обмотки, причем число витков первой обмотки $w_1 = 500$, а второй $w_2 = 300$. Определить напряженность магнитного поля, если ток в обмотках одинаков и равен 2 А, а длина средней силовой линии магнитного поля 0,2 м. Задачу решить для случаев одинакового и противоположного направлений токов.

237. На тороидальный магнитопровод (рис. 23,*б*) намотан провод ∅ 2 мм. Найти напряженность магнитного поля, создаваемого в магнитопроводе, если провод намо-

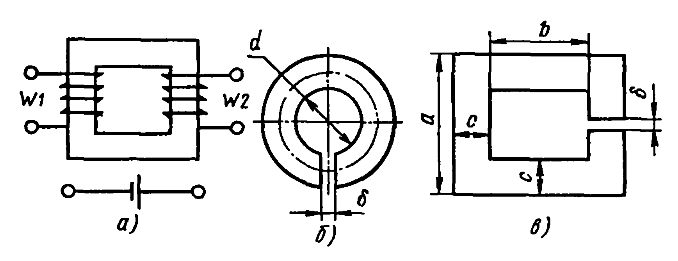


Рис. 23. *а*—к задачам 236, 240, 474; *б*—к задачам 237, 241, 249, 253, 257, 363; *в*— к задачам 241, 248

тан виток к витку по внутреннему диаметру *d*, равному 0,25 м, а протекающий ток равен 1 А. Длину зазора δ и средний диаметр магнитопровода принять соответственно равными 2 мм и 0,3 м.

238. Какой ток протекает по обмотке электромагнита, если она имеет 500 витков, длина средней силовой линии 2 м, площадь поперечного сечения сердечника 0,25 м^2, а магнитный поток в сердечнике 0,45 Вб? Материал сердечника — электротехническая сталь (см. приложение 5).

239. Найти магнитную индукцию в кольцевом сердечнике из: а) электротехнической стали; б) литой стали; в) чугуна, если намотанная на этот сердечник обмотка имеет 250 витков, по ней течет ток 1 А, а средний диаметр сердечника 0,1 м. (Указание: воспользоваться кривыми намагничивания, приведенными в приложении 5).

240. Магнитопровод имеет две одинаковые катушки (рис. 23,*а*). Как надо присоединить катушки к источнику постоянного напряжения, чтобы магнитный поток в магнитопроводе был: а) максимален; б) равен нулю?

241. Приведенные на рис. 23,*б* и *в* магнитопроводы имеют одинаковое поперечное сечение $S = 10^{-4}$ м^2, причем $d = 300$ мм; $a = 110$ мм, $b = 60$ мм и $c = 10$ мм. Определить длину проволоки ∅ 1 мм, которая необходима для

намотки 900 витков, и ее размещение на магнитопроводе.

242. Какой магнитный поток будет протекать по замкнутому магнитопроводу, если намагничивающая сила обмотки 500 А, а магнитное сопротивление магнитопровода $2{,}5 \cdot 10^4$ 1/Гн?

243. Площадь поперечного сечения магнитопровода 0,02 $м^2$, длина 0,05 м, относительная магнитная проницаемость 2000. Определить магнитное сопротивление магнитопровода.

244. Магнитный поток в сердечнике катушки, по которой протекает ток 4 А, равен $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ Вб. Какое число витков на единицу длины должна иметь катушка, если сечение сердечника $5 \cdot 10^{-3}$ м, а относительная магнитная проницаемость материала сердечника $\mu = 100$?

245. Определить диапазон магнитного сопротивления при изменении его длины 0,1 $\div$ 0,3 м, а площади поперечного сечения 0,01 $\div$ 0,05 $м^2$. Магнитопровод изготовлен из материала с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 500$.

246. Определить магнитное сопротивление сердечника, выполненного в виде усеченного конуса с диаметрами оснований 40 и 20 мм и длиной 50 мм (рис. 7,*а*). Абсолютная магнитная проницаемость материала сердечника $\mu_а = 4\pi \cdot 10^{-6}$ Гн/м. Эквивалентное сечение сердечника принять равным полусумме площадей оснований конуса.

247. Обмотка катушки индуктивности с числом витков $w = 100$ намотана на магнитный сердечник из литой стали со следующими параметрами: $S = 4 \cdot 10^{-4}$ $м^2$ и $l = 0{,}2$ м. Рассчитать магнитный поток и магнитное сопротивление сердечника при токах обмотки 0,6; 1,5 и 2,7 А.

248. Найти напряженность в зазоре прямоугольного магнитопровода из электротехнической стали (рис. 23,*в*), размеры которого $a = 0{,}11$ м; $b = 0{,}06$ м; $c = 0{,}01$ м, $\delta = 2$ мм, если напряженность магнитного поля в сердечнике $2 \cdot 10^3$ А/м, а намагничивающая сила, создаваемая обмоткой, $Iw = 3{,}32 \cdot 10^3$ А. Каков магнитный поток в магнитопроводе, если площадь его поперечного сечения 10^{-4} $м^2$?

249. Тороидальный магнитопровод с длиной средней окружности 0,3 м и поперечным сечением 0,001 $м^2$ имеет зазор 1 мм. Какое количество витков провода намотано на этот магнитопровод (рис. 23,*б*), если по обмотке протекает ток 10 А, магнитный поток в магнитопроводе $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Вб, а абсолютная магнитная проницаемость материала магнитопровода $\mu_а = 10^{-4}$ Гн/м?

250. Указать, как изменится магнитный поток ферромагнитного магнитопровода, если, не изменяя намагничивающей силы, увеличить воздушный зазор.

251. На рис. 24 приведена принципиальная схема магнитной системы с подвижным якорем. Используя аналогии между электрической и магнитной цепями, составить эквивалентную электрическую схему магнитной системы.

252. Обмотка с общим числом витков $w = 2000$ расположена на магнитном сердечнике (рис. 24) из электротехнической стали с параметрами $S = 5 \cdot 10^{-4}$ м^2 и $l = 0{,}2$ м. Найти ток обмотки при индукции магнитного поля $B = 1{,}8$ Тл и зазорах $\delta = 0$; 0,1 и 0,3 мм, считая сечения якоря и сердечника одинаковыми.

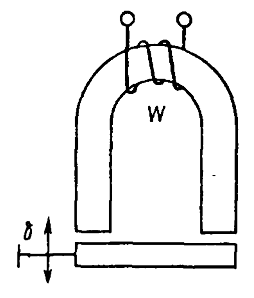


Рис. 24. К задачам 251, 252, 291

253. Тороидальный магнитопровод из электротехнической стали (см. рис. 23,*б*) с длиной средней окружности 0,12 м при отсутствии зазора имеет обмотку с числом витков 200, по которой течет ток 1 А. Какой ток необходимо пропустить через обмотку, чтобы индукция в сердечнике осталась прежней, при зазоре 1 мм? Найти относительную магнитную проницаемость материала сердечника.

254. Определить магнитную индукцию электромагнита, развивающего силу притяжения 1000 Н, если площадь поперечного сечения полюса 0,025 м^2.

255. Какую силу разовьет подковообразный электромагнит, если площадь поперечного сечения обоих полюсов 0,012 м^2, а магнитная индукция 0,5 Тл?

256. При зазоре между якорем и полюсами электромагнита 10 мм сила притяжения 10 Н. Какая будет сила притяжения при зазоре 1 мм, если ток электромагнита оставить без изменения? Магнитным сопротивлением якоря и магнитопровода пренебречь.

257. Определить усилие, стремящееся уменьшить зазор тороидального магнитопровода (см. рис. 23,*б*), если диаметр окружности сечения 0,02 м, а индукция в магнитопроводе 0,2 Тл.

258. Как будет изменяться усилие, создаваемое электромагнитом, при уменьшении зазора между его полюсами и притягиваемым ферромагнитным бруском (якорем электромагнита или поднимаемым грузом)?

259. Сила притяжения электромагнита при магнитной

индукции в его сердечнике 0,1 Тл составила 10^3 Н. Чему будет равна сила, развиваемая электромагнитом, при значениях индукции 0,02; 0,2; 0,5 Тл? Построить график зависимости силы притяжения, развиваемой электромагнитом, от магнитной индукции сердечников с площадями поперечных сечений 0,1; 0,2; 0,5 $м^2$ в диапазоне $0{,}1 \div 1$ Тл.

260. Определить силу притяжения, развиваемую электромагнитом с магнитной индукцией 0,1 Тл, если площадь поперечного сечения его сердечника 0,022 $м^2$.

261. Обмотка электромагнита с числом витков $w = 100$ намотана на магнитный сердечник из литой стали с параметрами $S = 5 \cdot 10^{-3}$ $м^2$ и $l = 0{,}2$ м. Найти необходимый ток обмотки, чтобы при зазоре $2\delta = 0{,}5$ мм сила притяжения была не менее 6 кН.

262. Как отличаются магнитные характеристики сталей, применяемых для изготовления: а) постоянных магнитов; б) электромагнитов?

263. Почему выполненные из ферромагнитных материалов постоянные магниты размагничиваются при сильных ударах или при сильном нагревании?

264. С какими магнитными свойствами должны быть выбраны материалы для изготовления постоянных магнитов и полюсных наконечников в магнитоэлектрических измерительных приборах?

§ 12. Электромагнитная индукция. Эдс самоиндукции. Индуктивность

В магнитном поле при движении проводника возникает эдс индукции

$$E = Blv\sin\alpha, \qquad (47)$$

где E — эдс индукции, В; B — магнитная индукция, Тл; v — скорость движения проводника, м/с; α — угол между направлением магнитных силовых линий поля и направлением движения проводника.

Направление наведенной эдс определяется по правилу правой руки.

Эдс индукции возникает в неподвижной обмотке, если изменяется магнитное поле, в которое она помещена. Наведенная эдс в данном случае равна

$$E = -w\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \qquad (48)$$

где $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока; Вб; Δt — отрезок

времени, за который произошло изменение магнитного потока, с; w — число витков катушки.

Если по обмотке протекает изменяющийся ток, то вокруг обмотки создается изменяющееся магнитное поле, что, в свою очередь, приводит к появлению в обмотке эдс, которая в данном случае называется эдс самоиндукции. Эдс самоиндукции (В) зависит от скорости изменения тока в обмотке и индуктивности обмотки:

$$E_L = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}, \tag{49}$$

где L — индуктивность обмотки, Гн; ΔI — изменение тока в обмотке, А; Δt — отрезок времени, за который изменился ток в обмотке, с.

Индуктивность обмотки может быть вычислена по формуле

$$L = \Phi w / I = w^2 / R_м, \tag{50}$$

где Φ — магнитный поток (Вб), создаваемый обмоткой с w витками, по которой протекает ток I.

Если две обмотки расположены так, что магнитный поток первой обмотки (или его часть) пронизывает вторую обмотку, то при изменении тока в первой обмотке во второй будет наводиться эдс, называемая эдс взаимоиндукции $E_{вз2}$(В):

$$E_{вз2} = -L_м\frac{\Delta I_1}{\Delta t}, \tag{51}$$

где ΔI_1 — приращение тока в первой обмотке за время Δt; $L_м$ — взаимная индуктивность, Гн.

Взаимная индуктивность $L_м$ зависит от индуктивностей первой и второй обмоток L_1 и L_2 и коэффициента связи $k_{св}$ между катушками, показывающего, какая часть магнитного потока одной катушки пронизывает витки другой катушки:

$$L_м = k_{св}\sqrt{L_1 L_2} = w_1 w_2 / R_м. \tag{52}$$

Эквивалентная индуктивность $L_{экв}$ двух последовательно соединенных обмоток, между которыми имеется индуктивная связь, равна:

$$L_{экв} = L_1 + L_2 \pm 2L_м. \tag{53}$$

В этой формуле знак « + » ставится тогда, когда токи в обмотке направлены одинаково относительно начала обмоток; при противоположном направлении токов ставят знак «—».

Силу, действующую на проводник в магнитном поле, можно определить из выражения для баланса мощностей:

$$Fv = UI + I^2R, \qquad (54)$$

где Fv — общая механическая мощность, Вт; UI — полезная электрическая мощность, отдаваемая в нагрузку, Вт; I^2R — мощность, идущая на нагревание проводника, Вт.

ЗАДАЧИ

265. Проводник длиной 1,5 движется равномерно со скоростью 3 м/с в однородном магнитном поле перпендикулярно магнитным силовым линиям. Магнитная индукция поля 0,2 Тл. Вычислить эдс, возникающую на концах проводника.

266. Определить напряженность однородного магнитного поля в воздухе, если при движении проводника длиной 10 м перпендикулярно силовым линиям поля со скоростью 20 м/с возникает эдс 15 В.

267. Какова длина проводника, если при движении его в магнитном поле с индукцией 1 Тл со скоростью 100 м/с возникает эдс 12 В, а угол между направлением движения проводника и силовыми линиями поля равен 30°?

268. Какая сила действует на проводник, если при движении его в магнитном поле со скоростью 20 м/с во внешней нагрузке сопротивлением 150 Ом протекает ток 0,3 А? Сопротивлением проводника и соединительных проводов пренебречь. Определить индукцию равномерного магнитного поля, в котором движется этот проводник перпендикулярно направлению силовых линий, если его длина 2 м.

269. С какой скоростью нужно удалить проводник из межполюсного пространства подковообразного магнита для того, чтобы на концах проводника появилась разность потенциалов 10 В? Активная длина проводника 1 м, угол $\alpha = 90°$, магнитная индукция в межполюсном пространстве 0,25 Тл.

270. Через межполюсное пространство магнита падает замкнутое металлическое кольцо. Будет ли оно при этом двигаться с ускорением силы тяжести?

271. Самолет с размахом крыльев 20 м летит горизонтально со скоростью 1800 км/ч. Определить вертикальную составляющую индукции магнитного поля Земли, если между концами крыльев возникает разность потенциалов 0,5 В

272. Проводник длиной 0,5 м равномерно вращается с линейной скоростью 1 м/с в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Определить эдс, наводимую в проводнике, если радиус вращения составляет 0,2 м, а ось вращения параллельна проводнику.

273. При движении проводника длиной l в однородном магнитном поле с индукцией B_1 со скоростью 5 м/с на его концах возникла разность потенциалов 0,3 В. Затем проводник начал двигаться равноускоренно с ускорением 1 м/с^2, и на его концах при движении в однородном магнитном поле с индукцией $B_2 = 1$ Тл возникла разность потенциалов 0,5 В через 10 с после начала ускорения. Определить магнитную индукцию поля B_1, учитывая, что направление движения проводника относительно силовых линий поля в обоих случаях одинаково.

274. Проводник длиной 0,5 м подключен к источнику с эдс 5 В и внутренним сопротивлением ≈ 0. Первоначально проводник был неподвижен, а затем стал двигаться перпендикулярно силовым линиям магнитного поля со скоростью 30 м/с. Во сколько раз уменьшится ток, если индукция магнитного поля 0,1 Тл?

275. Проводник двигался вначале под некоторым углом к силовым линиям магнитного поля, а затем под углом $\pi/2$ к прежнему направлению. Определить первоначальное направление движения проводника, если эдс уменьшилась после изменения направления в два раза.

276. Обмотка, имеющая 50 витков, пронизывается изменяющимся магнитным полем. Какова скорость изменения магнитного потока, если в катушке возникает эдс 100 В?

277. На концах обмотки из 40 витков в течение 10 с поддерживается постоянная разность потенциалов 5 В. Определить приращение магнитного потока за это время.

278. Между полюсами электромагнита расположен короткозамкнутый кольцевой виток площадью 0,025 м^2 и сопротивлением 0,1 Ом. Какой ток потечет по короткозамкнутому витку при включении электромагнита, если время нарастания индукции до значения 0,5 Тл составляет 0,01 с, плоскость витка перпендикулярна магнитным силовым линиям?

279. Магнитный поток в катушке с числом витков 100 сначала линейно возрастал и к моменту времени $t_1 = 0{,}01$ с достиг 10^{-4} Вб. Затем, начиная с некоторого момента времени, он линейно уменьшался, в момент времени $t_2 = 0{,}05$ с достиг $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ Вб и стал равен

нулю при $t_3=0{,}06$ с (рис. 25,*а*). Определить максимальный магнитный поток Ф и эдс индукции катушки в момент времени $t=0{,}03$ с.

280. Определить эдс катушки с количеством витков 250, если магнитный поток: а) постоянен; б) растет во времени со скоростью 0,01 Вб/с; в) уменьшается во времени со скоростью 0,1 Вб/с.

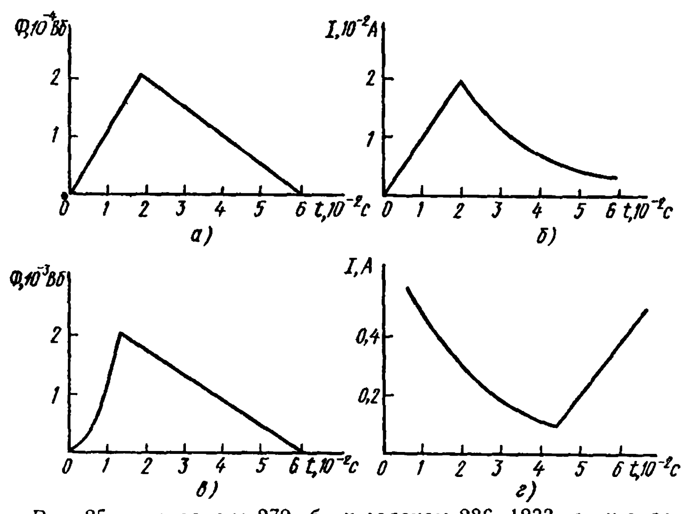


Рис 25 *а*—к задаче 279, *б*—к задачам 286, 1233, *в*—к задаче 287 *г*—к задаче 295

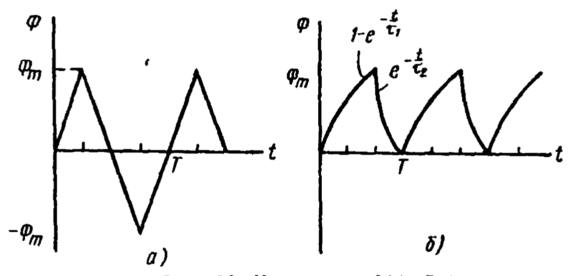


Рис 26 К задачам 281, 741

281. Магнитный поток в обмотке изменяется в виде импульсов, форма которых приведена на рис. 26, *а*, *б*. Указать характер изменения эдс индукции в обмотке в каждом случае.

282. Эдс катушки периодически изменялась во времени согласно рис. 27, *а*, *б*, *в*. Указать характер изменения магнитного потока катушки

283. Найти эдс самоиндукции в обмотке, если ее индуктивность 0,1 Гн, а ток в обмотке равномерно возрастает со скоростью 20 А/с.

284. Какого значения достигает магнитный поток, пронизывающий обмотку, если к ее концам в течение $2\cdot10^{-3}$ с приложили напряжение 100 В? Число витков обмотки 50, сопротивление обмотки ≈0. Определить индукцию в магнитопроводе, на который намотана эта обмотка, если площадь его поперечного сечения $2\cdot10^{-2}$ м^2.

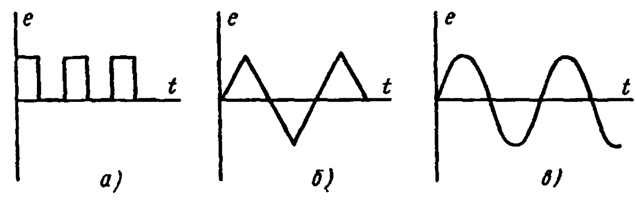


Рис 27 К задачам 282, 742, 1268

285. Сколько витков должна содержать обмотка, намотанная на магнитопровод, если постоянное напряжение 50 В, приложенное к ней в течение 0,1 с, вызывает приращение индукции в магнитопроводе не более 0,1 Тл? Площадь поперечного сечения магнитопровода 0,01 м^2; активным сопротивлением катушки пренебречь.

286. Ток в катушке, индуктивность которой $L=10^{-2}$ Гн, сначала линейно увеличивался и к моменту времени $t_1=0{,}01$ с достиг 0,01 А. Затем, начиная с некоторого момента времени, он стал уменьшаться обратно пропорционально времени и к моменту $t_2=0{,}04$ с достиг 0,01 А (см рис. 25, *б*). Определить максимальный ток катушки индуктивности и эдс самоиндукции в момент времени $t=0{,}015$ с.

287. Магнитный поток в катушке индуктивности с числом витков $w=100$ возрастал пропорционально квадрату времени и к моменту $t_1=0{,}01$ с достиг 10^{-3}Вб. Затем, начиная с некоторого момента времени, он линейно уменьшался и в моменты $t_2=0{,}05$ с и $t_3=0{,}06$ с стал равен $\Phi_2=0{,}5\cdot10^{-3}$ Вб и $\Phi_3=0$ (см. рис. 25,*в*). Определить максимальный магнитный поток.

288. Ток (А) в катушке, индуктивность которой 10 мГн, изменялся согласно уравнению $i=2(1-e^{-2t})$. Записать уравнение, характеризующее изменение эдс самоиндукции.

289. Какова индуктивность обмотки, имеющей 1000 витков, если ток 0,01 А создает в ней магнитный поток $5\cdot10^{-7}$ Вб?

290. Катушка со средней длиной магнитных силовых линий 0,1 м и ∅ 0,03 м имеет 600 витков. По катушке проходит ток 2,2 А. Найти магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение катушки, и ее индуктивность.

291. Обмотка катушки с общим числом витков $w=200$ намотана на магнитный сердечник (см. рис. 24) из электротехнической стали с параметрами $S=5\cdot10^{-4}$ м^2 и $l=0{,}2$ м. Найти индуктивность катушки при зазоре $\delta=0{,}2$ мм и индукции магнитного поля 1,8 Тл, считая сечения якоря и сердечника одинаковыми.

292. Катушка с железным сердечником имеет площадь поперечного сечения 0,05 м^2 и число витков 400. Индуктивность катушки с сердечником составляет 250 мГн при его длине 0,1 м. Найти относительную магнитную проницаемость железного сердечника.

293. Дроссель имеет обмотку с числом витков 750, намотанную на сердечник длиной 0,2 м и ∅ 0,05 м. Определить индуктивность дросселя, если его сердечник изготовлен из электротехнической стали, кривая намагничивания которой приведена в приложении 5, а ток катушки 0,4 А.

294. При разрыве цепи катушки большой индуктивности произошел пробой межвитковой изоляции катушки. Объяснить причину этого явления.

295. В начальный момент времени $t_0=0{,}01$ с ток в одной из катушек индуктивности был равен 0,5 А, затем он уменьшался обратно пропорционально времени. Начиная с некоторого момента он стал линейно возрастать и в моменты времени $t_1=0{,}05$ с и $t_2=0{,}07$ с достиг значений 0,2 и 0,5 А соответственно (см. рис. 25, *г*). Определить максимальный ток этой катушки и эдс взаимоиндукции во второй катушке в момент времени $t=0{,}07$ с, если их взаимная индуктивность составляет 0,05 Гн.

296. Вычислить взаимную индуктивность двух обмоток по 100 витков каждая, если при равномерном изменении тока в одной обмотке на 2 А в течение 0,1 с в каждом витке второй обмотки индуцируется эдс 0,03 В.

297. Чему равен коэффициент связи между двумя обмотками, если их индуктивности $L_1=4\cdot10^{-2}$ Гн и $L_2=10^{-2}$ Гн, а взаимная индуктивность 5 мГн?

298. В каком диапазоне изменяется взаимная индуктивность двух катушек, индуктивности которых $L_1=0{,}1$ мГн $\pm10\%$ и $L_2=0{,}3$ мГн $\pm5\%$, если коэффициент связи между ними 0,8?

299. Взаимная индуктивность двух катушек 5 мГн. Ток (А) первой катушки изменяется по уравнению $i=2\ e^{-2t}$. Определить характер изменения эдс взаимоиндукции, наводимой во второй катушке.

300. Каков коэффициент связи между обмотками, индуктивности которых $L_1=2$ мГн и $L_2=12{,}5$ мГн, если при их последовательном включении и одинаковом направлении токов эквивалентная индуктивность 17 мГн?

301. Определить диапазон изменения эквивалентной индуктивности двух последовательно подключенных катушек, индуктивности которых $L_1=5$ мГн$\pm10\%$ и $L_2=$ $=2$ мГн$\pm10\%$, при встречном и согласном включениях, если коэффициент связи между ними 0,6.

302. Для определения взаимной индуктивности двух катушек можно воспользоваться геометрическими построениями, приведенными на рис. 28. Доказать, что отрезок BD, проведенный перпендикулярно диаметру AC, соответствует взаимной индуктивности катушек.

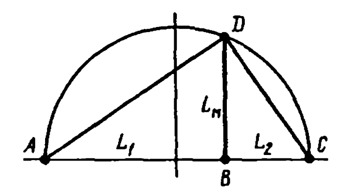


Рис 28 К задаче 302

303. При каком соотношении индуктивностей двух последовательно соединенных обмоток при встречном включении их эквивалентная индуктивность будет минимальной?

304. Квадратная рамка со стороной 1 м вращается в магнитном поле под действием момента 0,5 Н·м с частотой 300 об/мин. Определить напряжение и мощность нагрузки, подключенной к выводам рамки, если ток в цепи 1 А, а сопротивление рамки 5 Ом.

305. Какой вращающий момент создается квадратной рамкой со стороной 2 м, если ток рамки 5 А, ее сопротивление 3 Ом? Частота вращения рамки в магнитном поле равна 1100 об/мин, напряжение на выводах 110 В

306. Указать области электротехники, в которых используются вихревые токи. Назвать случаи, когда действие вихревых токов нежелательно.

Глава IV

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

§ 13. Основные характеристики и параметры переменного тока

Переменный ток и переменное напряжение изменяются по следующим законам:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i);$$
$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), \qquad (55)$$

где i и u — мгновенные значения тока и напряжения в любой момент времени; I_m и U_m — максимальные (амплитудные) значения тока и напряжения; ψ_i и ψ_u — начальные фазы тока и напряжения; ω — угловая частота, рад/с.

Разница начальных фаз напряжения и тока $\varphi = \psi_u - \psi_i$ называется углом сдвига фаз или фазовым сдвигом.

В технике существует также понятие частоты f (Гц), представляющей собой число периодов T переменного тока или напряжения в 1 с:

$$f = 1/T \qquad (56)$$

Между угловой частотой и частотой f существует зависимость

$$\omega = 2\pi f. \qquad (57)$$

Для электроэнергетических установок в СССР принята стандартная частота $f = 50$ Гц.

Для высокочастотных устройств применяется понятие длины волны, которая связана с частотой и периодом переменного тока:

$$\lambda = CT = C/f, \qquad (58)$$

где C — скорость распространения электромагнитного поля, равная скорости света $3 \cdot 10^8$ м/с.

Для изображения переменного тока при экспериментальных исследованиях чаще используют временную ось ординат (рис. 29, *а*), при расчетах — безразмерную (рис. 29, *б*).

Переменную синусоидальную величину удобно изображать в виде вектора, длина которого в выбранном масштабе равна амплитудному значению, а направление соответствует начальной фазе. Совокупность некоторых век-

торов, изображающих синусоидальные величины одной частоты, называется векторной диаграммой. В большинстве случаев векторные диаграммы цепей переменного тока строятся для действующих значений токов и напряжений.

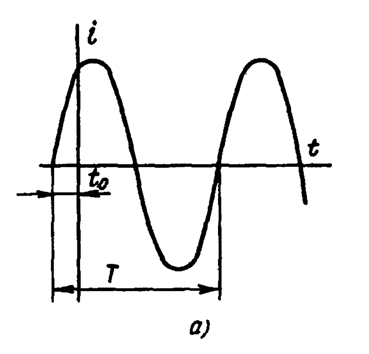


Рис. 29. Изображение переменного тока: а—в единицах времени: б—в радианах

Рис. 30. Изображение вектора в комплексной плоскости

Векторы могут изображаться также в комплексной плоскости (рис. 30), что позволяет применять основные методы расчета, такие же, как и для электрических цепей постоянного тока.

Любой вектор в комплексной плоскости можно выразить в виде комплексного числа в алгебраической форме:

$$A = \mathrm{Res}\ (A) + j\mathrm{Im}\ (A) \tag{59}$$

или в показательной форме:

$$A = A_m e^{j\varphi}, \tag{60}$$

где Res (A) и Im (A) — действительная и мнимая части комплексного числа.

Связь между алгебраической и показательной формой представления комплексного числа определяется формулой

$$A_m e^{j\varphi} = A_m \cos\varphi + jA_m \sin\varphi \tag{61}$$

Отсюда следует, что если заданы амплитудное (или действующее) значение A_m тока или напряжения и его

начальная фаза, то действительная и мнимая части находятся из соотношений

$$\mathrm{Res}\ (A) = A_m\cos\varphi \text{ и } \mathrm{Im}(A) = A_m\sin\varphi. \qquad (62)$$

Если же заданы действительные и мнимые части вектора тока или напряжения, то его амплитуда и фаза находятся по формулам

$$A_m = \mathrm{Res}\ (A)\sqrt{1+\left(\frac{\mathrm{Im}(A)}{\mathrm{Res}\ (A)}\right)^2} \text{ и } \mathrm{tg}\varphi = \frac{\mathrm{Im}(A)}{\mathrm{Res}\ (A)}. \qquad (63)$$

При использовании комплексных чисел для расчета цепей переменного тока можно воспользоваться таблицей преобразования в приложении 6. Необходимо учитывать, что при умножении и делении комплексных чисел удобно пользоваться показательной формой, а для суммирования и вычитания — алгебраической.

ЗАДАЧИ

307. Определить период и частоту переменного тока, если угловая частота равна 314 рад/с. Найти промежуток времени между соседними амплитудами тока при частоте 200 Гц.

308. Чему равна начальная фаза переменного тока, если в первый момент времени мгновенное значение составляет 0,1 А, а максимальное значение 0,8 А?

309. Определить максимальное значение переменного тока, если в первый момент времени ток был 0,4 А, а начальная фаза 30°.

310. Почему лампа накаливания, включенная в промышленную сеть переменного тока, горит ровным светом, не мигая?

311. Почему на определенной частоте вращения шпинделя фрезерного станка в условиях цехового освещения его вращение становится незаметным?

312. С увеличением частоты переменного тока при одном и том же его амплитудном значении сопротивление резистора увеличивается. Объяснить, каким явлением это обусловливается и от каких свойств проводников оно зависит.

313. Квадратная рамка из медной проволоки сечением 1 мм^2 помещена в магнитное поле, индукция которого меняется по закону $B = B_0\cos\omega t$, где $B_0 = 1{,}4$ Тл, $\omega = 314$ рад/с. Площадь рамки 250 мм^2, а ее плос-

кость перпендикулярна направлению магнитного поля. Найти зависимость эдс и тока рамки от времени.

314. В магнитном поле вращается рамка с ускорением $\varepsilon = 10$ с$^{-2}$ Определить частоту и период наводимой эдс в моменты времени $t_1 = 1$ с, $t_2 = 2$ с, $t_3 = 4$ с, если в исходном состоянии рамка неподвижна.

315. Построить графики переменного тока: а) с частотой 50 Гц при амплитудном значении тока 0,1; 0,3; 0,5 А; б) с амплитудным значением 0,5 А при частоте 50, 25, 100 Гц.

316. Построить график переменного тока, который представляет собой сумму двух синусоидальных токов: а) $I_{m1} = 0{,}3$ А; $I_{m2} = 0{,}1$ А при угловой частоте 314 рад/с и разности начальных фаз $\pi/4$; б) $I_{m1} = I_{m2} = 0{,}5$ А при частоте 50 Гц и разности начальных фаз 60°.

317. Построить в одной системе координат графики зависимости от времени напряжений (В), мгновенные значения которых соответствуют выражениям: $u_1 = 534\sin 314t$; $u_2 = 534\sin(314t + \pi/2)$; $u_3 = 534\sin(314t - \pi/2)$. Графически найти сумму указанных напряжений.

318. Мгновенные значения двух синусоидальных токов с одинаковой амплитудой и начальной фазой становятся равными через каждые 10 мс. Определить минимальную разность частот мгновенных значений токов.

319. Мгновенные значения двух синусоидальных токов соответствуют выражениям: $i_1 = I_m \sin\omega t$; $i_2 = I_m \sin(\omega t + \pi/2)$. Найти первый момент времени, когда мгновенные значения токов равны между собой.

320. Два переменных напряжения сдвинуты по фазе на $\pi/2$, причем амплитуда первого из них на 10 В больше амплитуды другого и меньше амплитуды суммарного напряжения на 20 В. Определить амплитудные значения обоих напряжений.

321. Аналитические выражения для мгновенных значений токов, проходящих по двум параллельным ветвям цепи, имеют вид: $i_1 = I_m \sin(\omega t + \psi_1)$ и $i_2 = I_m \sin(\omega t + \psi_2)$. В какой зависимости должны находиться между собой фазы ψ_1 и ψ_2, чтобы общий ток в этой цепи был равен нулю?

322. Период переменного тока составляет 2 мс, а начальная фаза равна 60°. Определить моменты времени, в которые ток принимает амплитудные значения.

323. Осциллограммы переменного тока изображены

на рис. 31, *а*, *б*. Найти амплитудное значение, частоту и начальную фазу каждого тока.

324. Токи в параллельных ветвях цепей имеют вид, приведенный на рис. 31, *а*, *б*. Построить графики мгновенных значений общих токов.

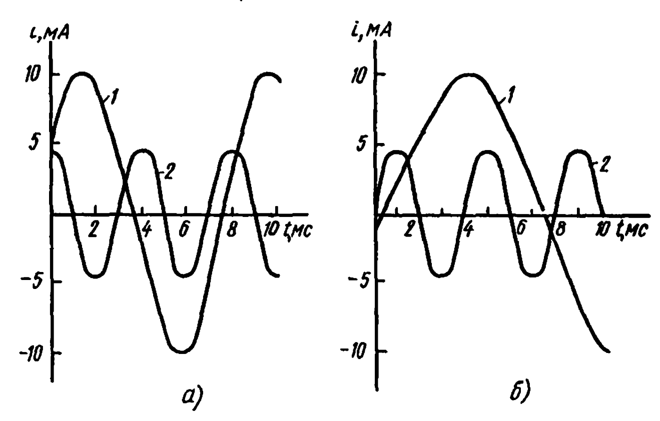


Рис 31. К задачам 323, 324, 951

325. Определить частоту и период переменного тока, соответствующие распространенным в радиотехнике длинам волн 25, 41, 75, 500 и 1200 м.

326. Определить диапазон изменения длины волны переменного тока при следующих диапазонах частот: а) 50÷500 Гц; б) 1000 Гц÷10 кГц; в) 100 кГц÷10 МГц.

327. Построить в масштабе векторы, соответствующие следующим выражениям для мгновенных значений переменного тока (А): а) $i=2\sin 314t$; б) $i=\sin(314t+60°)$; в) $i=0{,}5\sin(314t-30°$; г) $i=1{,}5\sin(314t+45°)$ в моменты времени $t_1=0$; $t_2=1/4T$; $t_3=3/4T$.

328. Синусоидально изменяющиеся напряжения (В) представлены следующими выражениями: $u_1=100\sin(628t+30°)$; $u_2=200\sin(628t+60°)$. Найти при помощи векторной диаграммы напряжения, соответствующие сумме и разности заданных мгновенных значений напряжений.

329. На рис. 32, *а*, *б* заданы в масштабе 0,1 А/мм векторы амплитудных значений токов различных цепей. Записать выражения для мгновенных значений токов, если частота их одинакова и равна 100 Гц. Найти выражения для мгновенного значения тока, равного сумме заданных токов.

330. Аналитические выражения для мгновенных значений напряжений (В) на двух последовательных участках цепи имеют вид: $u_1 = 110\sin(314t + 65°)$ и $u_2 = 60\sin(314t - 30°)$. Определить общее напряжение цепи.

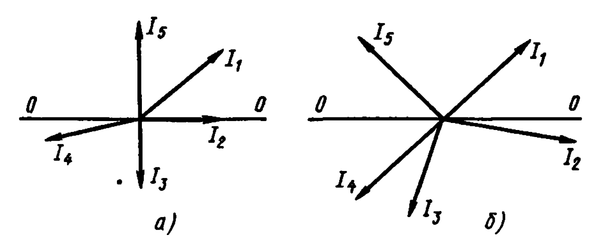


Рис. 32 К задачам 329, 336

331. Аналитические выражения для мгновенных значений токов (А) двух параллельных ветвей имеют вид: $i_1 = 10\sin(314t + 62°)$ и $i_2 = 12\sin(314t - 35°)$. Определить общий ток цепи.

332. Сопротивления (Ом) двух участков цепи переменного тока записываются в виде следующих комплексных чисел: $Z_1 = 10e^{-j25°}$ и $Z_2 = 5e^{j133°}$. Найти общее сопротивление цепи при последовательном и параллельном соединении ее участков.

333. При последовательном соединении источников переменного напряжения с разной частотой возможны три случая: $\omega_1 \gg \omega_2$; $\omega_1 \simeq \omega_2$; $\omega_1 = n\omega_2$, где $n = 2, 3, 4 ... k$. В каких случаях возникают наложения, биения и искажения эдс?

334. Указать преимущества и недостатки передачи и потребления электрической энергии переменного тока по сравнению с постоянным током.

§14. Законы электрических цепей переменного тока

Действующие значения переменного тока и напряжения связаны с амплитудными следующими зависимостями:

$$I = I_m/\sqrt{2} = 0{,}707 I_m; \quad U = U_m/\sqrt{2} = 0{,}707 U_m. \qquad (64)$$

Под действующим значением переменного тока понимают такой постоянный ток, который, проходя по проводнику в течение некоторого времени, выделит в нем такое же количество теплоты, какое выделяет переменный ток.

Связь между действующими значениями тока и напряжения в цепи с резистором (рис. 33,*а*) определяется

законом Ома:

$$I = U/R. \qquad (65)$$

Конденсатор в цепи переменного тока (рис. 33,*б*) имеет реактивное сопротивление (Ом), обратно пропорциональное его емкости и частоте переменного тока, т. е. емкостное сопротивление

$$X_C = 1/\omega C. \qquad (66)$$

Ток конденсатора определяется по формуле

$$I = U/X_C = C\frac{\Delta U}{\Delta t}. \qquad (67)$$

Энергия источника питания в конденсаторе не расходуется, а идет на создание электрического поля между

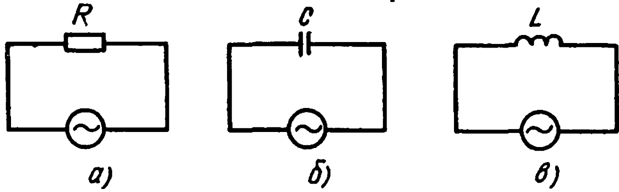


Рис. 33. Простейшие цепи переменного тока: *а*—с активной нагрузкой; к задачам 371, 372; *б*—с емкостной нагрузкой; к задачам 351, 371, 372; *в*—с индуктивной нагрузкой; к задачам 359, 371, 372

пластинами при заряде конденсатора и возвращается обратно в источник при его разряде. Поэтому для переменного тока конденсатор представляет реактивное сопротивление. Ток в конденсаторе опережает напряжение на 90°, т. е. $I = U\omega Ce^{j90^\circ}$.

Катушка индуктивности, если не учитывать ее активного сопротивления, имеет в цепи переменного тока (рис. 33,*в*) реактивное сопротивление, прямо пропорциональное ее индуктивности и частоте переменного тока, т. е. индуктивное сопротивление (Ом)

$$X_L = \omega L. \qquad (68)$$

Напряжение катушки индуктивности определяется по формуле

$$U = IX_L = L\frac{\Delta I}{\Delta t}. \qquad (69)$$

Индуктивное сопротивление является реактивным, так как энергия источника в этом случае затрачивается на создание электромагнитного потока при увеличении тока в катушке и возвращается в источник при его уменьшении. Ток в катушке индуктивности отстает от напряжения на 90°, т. е. $I = (U/\omega L)e^{-j90^\circ}$

Для более сложных цепей переменного тока законы Кирхгофа справедливы, но уже в векторной форме:

$$\Sigma \mathrm{Res}\,(I)=0 \text{ и } \Sigma \mathrm{Im}(I)=0;$$
$$\Sigma \mathrm{Res}(E)=\Sigma \mathrm{Res}(U) \text{ и } \Sigma \mathrm{Im}(E)=\Sigma \mathrm{Im}(U). \quad (70)$$

При последовательном соединении катушки с индуктивным сопротивлением X_L и конденсатора с емкостным сопротивлением X_C (рис. 34,*а*) в случае резонанса напряжений, т. е. когда $X_L=X_C$, сопротивление цепи равно R, а напряжение на участке LC равно нулю. В этом случае напряжение $U_L=U_C$ и может быть много больше напряжения питания.

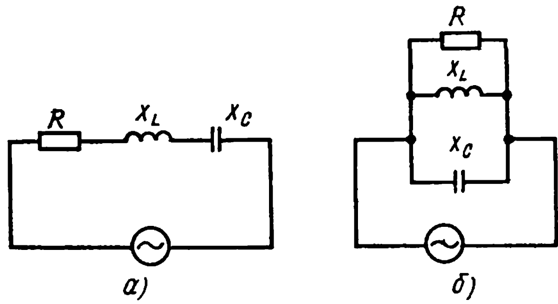


Рис. 34. Резонансные цепи переменного тока:
а — с последовательным соединением элементов; к задачам 386, 397, 402, 466, 467, 468; *б*—с параллельным соединением элементов; к задачам 386, 466, 468

При параллельном соединении катушки с индуктивным сопротивлением X_L и конденсатора с емкостным сопротивлением X_C (рис. 34,*б*) в случае резонанса токов, т. е. когда $\frac{1}{X_L}=\frac{1}{X_C}$, сопротивление участка LC соответствует разрыву цепи и ток в цепи обусловлен активной проводимостью g.

Частота переменного тока, при которой возникает резонанс в цепи, определяется по формуле

$$f_{\text{рез}}=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (71)$$

Мощность в цепях переменного тока представлена следующими формулами:

$$S=UI=P+jQ;\ P=UI\cos\varphi;\ Q=UI\sin\varphi, \quad (72)$$

где S — полная мощность, В·А; P — активная мощность, Вт; Q — реактивная мощность, вар; cos φ — коэффициент мощности.

ЗАДАЧИ

335. Выражение для мгновенных значений тока (А) и напряжения (В) имеют вид: $i = 14{,}2\sin(\omega t + \pi/2)$; $u = 169\sin(\omega t + \pi/2)$. Определить показания амперметра и вольтметра, включенных в цепь, а также ее сопротивление.

336. По рис. 32,*а*, *б*, приняв масштаб 0,2 мА/мм, найти действующие значения и начальные фазы токов, если векторные диаграммы соответствуют амплитудным значениям токов.

337. На рис. 35,*а*, *б*, *в* приведены векторы напряжения и тока трех цепей переменного тока в масштабах 50 В/см и 2 А/см. Определить полное, активное, реактивное сопротивления цепей и потребляемую ими активную мощность. Построить треугольники сопротивлений цепей.

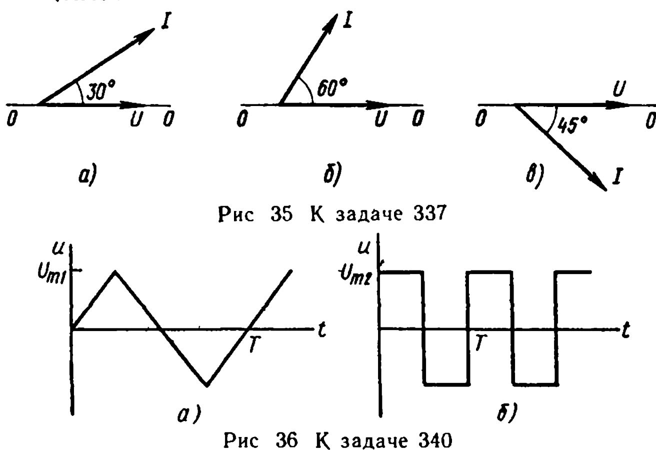


Рис 35 К задаче 337

Рис 36 К задаче 340

338. Доказать, что действующее значение переменного тока графически равно катету равнобедренного прямоугольного треугольника, гипотенуза которого равна амплитудному значению.

339. Цепь с резистором может подключаться как к источнику постоянного напряжения, так и к источнику синусоидального переменного напряжения. При каком соотношении постоянного тока и амплитудного значения переменного тока выделяемое в цепи количество теплоты будет одинаковым?

340. Цепь с резистором может подключаться как к источнику пилообразного напряжения (рис. 36,*а*), так

и к источнику импульсного напряжения (рис. 36,*б*). При каком соотношении амплитудных значений напряжений выделяемое в цепи количество теплоты будет одинаковым?

341. Термометр сопротивления с $R_0=10$ кОм при температуре $T_0=293$ К включен в сеть напряжением 220 В. Чему равна температура среды, при которой ток в цепи равен 17 мА, если температурный коэффициент сопротивления 10^{-3} 1/К?

342. Найти выражение для мгновенного значения тока в цепи с резистором, имеющим сопротивление 1 кОм, который подключен к источнику переменного напряжения 6 В частотой 50 Гц, если начальная фаза напряжения $\psi_u=-45°$.

343. Почему при включении в сеть устройств, потребляющих большой ток, падает яркость осветительной сети?

344. В резисторе, имеющем сопротивление 10 кОм, протекает синусоидальный ток (мА), выражение для мгновенного значения которого $i=\sin 314t$. Построить графики зависимостей мгновенных значений тока, напряжения и мощности резистора от времени.

345. Напряжение сети переменного тока, равное 220 В, понизилось на 2,5%. На сколько следует изменить сопротивление нагрузки, чтобы потребляемая ею мощность, равная 150 Вт, оставалась неизменной?

346. Составить принципиальные схемы подключения переменного резистора, которые позволяют регулировать напряжение на резисторе нагрузки: а) от 0 до 220 В; б) от 220 до 110 В; в) от 0 до 110 В.

347. Напряжение на шинах электростанции 6600 В. Потребитель находится на расстоянии 10 км. Какое должно быть сечение медного провода для устройства двухпроводной линии передачи, если ток в линии 20 А, а потери напряжения в проводах составляют 3%?

348. Рассчитать сопротивление конденсатора емкостью 5 мкФ при частоте переменного тока 50 Гц. Найти частоту переменного тока, при которой конденсатор емкостью 1 мкФ имеет сопротивление 1 кОм.

349. Определить максимальную емкость конденсатора, чтобы его сопротивление при частоте 4000 Гц было 1 кОм.

350. Найти выражение для мгновенного значения тока в цепи с конденсатором емкостью $C=1$ мкФ, который подключен к источнику переменного напряжения 220 В

частотой 100 Гц. Начальную фазу напряжения на конденсаторе считать равной $\psi_u = 0$.

351. Как изменится ток в цепи с конденсатором (см. рис. 33, *б*) при: а) увеличении частоты в 2 раза; б) уменьшении емкости в 3 раза; в) одновременном увеличении напряжения в 2 раза и уменьшении частоты в 2 раза?

352. Определить диапазон возможных токов конденсатора, емкость которых 1 мкФ ± 5 %, при напряжениях на нем 10, 110, 220 В и частоте 50 Гц.

353. Выражение для мгновенного значения напряжения (В) конденсатора, емкость которого 2 мкФ, имеет вид: $u = 169\sin(100t + \pi/2)$. Определить выражение для мгновенного значения тока и реактивную мощность конденсатора. Построить графики зависимостей мгновенных значений тока, напряжения и мощности конденсатора от времени.

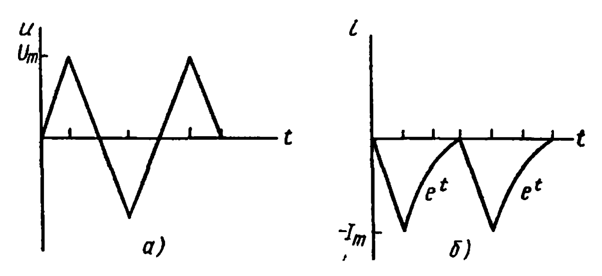


Рис 37 *а*—к задаче 354, *б*—к задаче 367

354. Напряжение конденсатора периодически меняется, как показано на рис. 37, *а*. Определить характер изменения тока конденсатора.

355. Варикап, зависимость емкости которого от напряжения приведена на рис. 4, подключен к источнику переменного напряжения $15\sin\omega t$, В. Определить мгновенное значение тока варикапа в моменты времени $t = 0$; $1/4T$; $1/2T$, если $T = 10$ мкс.

356. Электротехническое устройство с потребляемой мощностью 50 Вт и напряжением питания 110 В нужно включить в сеть переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц. Найти емкость конденсатора, который необходимо подключить последовательно данному устройству, чтобы скомпенсировать избыточное напряжение.

357. Катушка, индуктивность которой 1 мГн, подключена к источнику переменного напряжения 12 В частотой 400 Гц. Найти выражение для мгновенного зна-

чения тока в катушке, приняв начальную фазу напряжения $\psi_u = 0$.

358. Определить реактивное сопротивление катушки, индуктивность которой 1 мГн, при частоте переменного тока 500 Гц. Чему должна быть равна индуктивность катушки, чтобы при частоте 50 кГц ее сопротивление было 0,1 кОм?

359. Как изменится ток в цепи с катушкой индуктивности (см. рис. 33, *в*) при: а) уменьшении частоты напряжения питания в 4 раза; б) увеличении индуктивности в 2 раза?

360. Катушка, имеющая индуктивность 1 мГн и активное сопротивление 0,5 Ом, включена в цепь переменного тока. Найти частоту, при которой активное сопротивление катушки будет в 10 раз меньше индуктивного.

361. Мгновенное значение тока (А), протекающего через катушку, индуктивность которой 20 мГн, определяется выражением $i = 5\sin 314t$. Найти выражение для мгновенных значений эдс самоиндукции и магнитного потока катушки, если число ее витков 100.

362. Две катушки имеют взаимную индуктивность 5 мГн. В одной из катушек мгновенное значение тока (А) соответствует выражению $i = 10\sin 314t$. Найти выражение для мгновенного значения эдс, индуцируемой во второй катушке, и ее действующее значение.

363. Катушка, намотанная на тороидальный сердечник (см. рис. 23, *б*), имеет индуктивность 0,2 Гн; она подключена к сети переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц. Определить ток катушки, если напряжение подводится: а) ко всем виткам; б) к половине витков; в) к 1/3 витков.

364. Обмотка катушки индуктивности с числом витков $\omega = 100$ намотана на магнитный сердечник из литой стали с параметрами $S = 4 \cdot 10^{-4}$ м², $l = 0{,}2$ м. Рассчитать мгновенное значение напряжения катушки в моменты времени: 0; 1/4; 1/2 T, если ток в ней $i = 2\sin 314t$, А.

365. В цепи переменного тока используется катушка, номинальная индуктивность которой 1 мГн $\pm 5\%$. Определить диапазон возможных токов катушки при напряжениях 10, 20, 30 В и частоте 50 Гц.

366. Мгновенное значение тока катушки, индуктивность которой 1 мГн, соответствует выражению $i = 14{,}2 \sin(100t + \pi/2)$, А. Определить выражение для мгновенного значения напряжения и реактивную мощность катушки.

Построить графики зависимостей мгновенных значений тока, напряжения и мощности катушки от времени.

367. Ток катушки индуктивности периодически меняется, как показано на рис. 37, *б*, причем первую половину периода он падает линейно, а вторую половину периода растет по экспоненте. Определить характер изменения напряжения катушки.

368. Как изменится реактивное сопротивление катушки индуктивности при введении в нее стержня, изготовленного из: а) электротехнического железа; б) алюминия; в) меди?

369. Почему при измерении токов в обмотках с большими индуктивными сопротивлениями (например, в обмотках трансформаторов, роторов электрических машин) необходимо прежде отключить измерительный амперметр, а затем разомкнуть цепь питания?

370. Как конструктивно должна быть выполнена катушка, чтобы при подключении в цепь переменного тока любой частоты ее индуктивное сопротивление было бы равно нулю?

371. К простейшим цепям переменного тока (см. рис. 33, *а, б, в*) приложено напряжение (В), мгновенное значение которого определяется выражением $u=10 \sin(314t-45°)$. Найти выражения для мгновенных значений токов в каждом случае и определить их действующие значения, если $R=1$ кОм, $L=0{,}1$ Гн и $C=10$ мкФ.

372. К простейшим цепям переменного тока приложено напряжение (В), мгновенное значение которого определяется выражением $u=40\sin(628t+30°)$. Найти R (см. рис. 33, *а*), L (см. рис. 33,*б*), C (см. рис. 33 *в*), если в каждой цепи протекает ток с амплитудным значением 0,1 А.

373. Какие элементы содержат цепи, векторные диаграммы которых представлены на рис. 38, *а, б, в*? Сос-

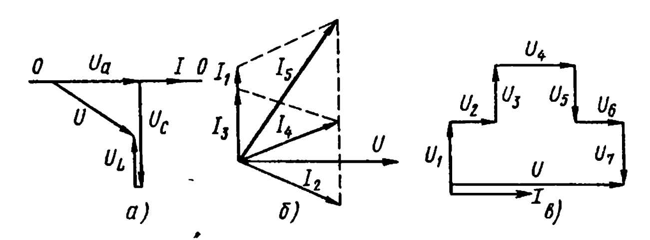


Рис 38 *а, б*—к задаче 373, *в*—к задачам 373, 385

тавить принципиальные электрические схемы, соответствующие указанным векторным диаграммам.

374. На рис. 39, *а, б* приведены векторные диаграммы токов и напряжений двух цепей. Составить принципиальные электрические схемы цепей и указать, как изменяются их диаграммы при увеличении напряжения в два раза.

375. Определить напряжения на элементах цепи (рис. 40, *а*), если они характеризуются следующими параметрами: $R_1=100$ Ом; $R_2=1$ кОм; $L=0{,}1$ Гн, $C=5$ мкФ. Питание цепи осуществляется источником переменного

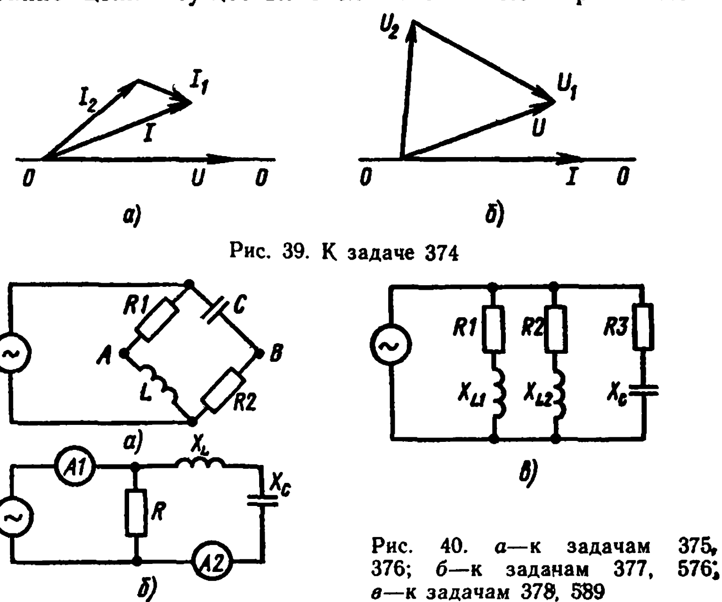


Рис. 39. К задаче 374

Рис. 40. *а*—к задачам 375, 376; *б*—к задачам 377, 576; *в*—к задачам 378, 589

напряжения (В), мгновенное значение которого определяется выражением $u=250\sin628t$.

376. Найти такую емкость C (рис. 40, *а*), чтобы напряжение $U_{R1}=U_{R2}$, если параметры остальных элементов цепи соответственно равны: $R_1=5$ кОм, $R_2=7{,}5$ кОм, $L=10$ мГн, а частота напряжения питания 1 кГц.

377. Электрическая цепь (рис. 40, *б*) подключена к источнику переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц. Определить показания амперметров, если $R=500$ Ом, $X_L=1$ кОм, $X_C=2$ кОм.

378. Электрическая цепь (рис. 40, *в*) характеризуется следующими параметрами: $R_1=560$ Ом, $X_{L1}=900$ Ом,

$R_2 = 1{,}2$ кОм, $X_{L2} = 1{,}5$ кОм, $R_3 = 3{,}9$ кОм, $X_C = 5$ кОм. Определить токи ветвей I_1 и I_2, если ток $I_3 = 0{,}02$ А. Построить векторную диаграмму цепи и найти с ее помощью полный ток.

379. Построить векторные диаграммы токов для цепей, изображенных на рис. 41, *а*, *б*, если $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 0{,}75$ кОм, $X_L = 1{,}5$ кОм, $X_C = 2$ кОм, а цепи в обоих случаях подключены к источнику переменного напряжения 380 В.

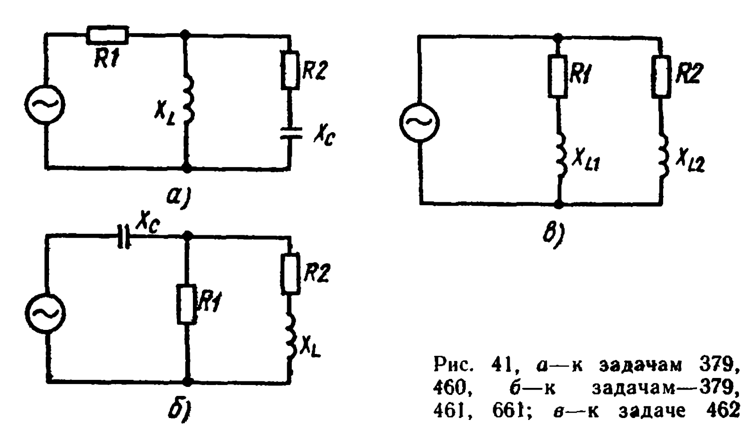


Рис. 41, *а*—к задачам 379, 460, *б*—к задачам—379, 461, 661; *в*—к задаче 462

380. Цепь переменного тока, мостовая схема которой соответствует рис. 12, *а*, подключена к источнику 220sin314*t*, В. В плечи Z_1 и Z_2 включены конденсаторы $C_1 = 1$ мкФ и $C_2 = 0{,}5$ мкФ. Остальные элементы схемы представляют собой резисторы $R_3 = R_4 = R_5 = 5$кОм и $R_6 = 0{,}5$ кОм. Найти ток в диагонали моста.

381. Цепь переменного тока, дифференциальная схема которой соответствует рис. 12, *б*, подключена к двум источникам 220sin314*t*, В. В качестве элементов Z_1 и Z_2 используются катушки индуктивности $L_1 = 25$ мГн и $L_2 = 50$ мГн. Найти ток в резисторе R_3.

382. При подключении электротехнических устройств к сети с напряжением, превышающим их номинальное напряжение, используются балластные резисторы, дроссели конденсаторы. Указатель преимущества и недостатки каждого способа компенсации избыточного напряжения.

383. При какой частоте наступает резонанс напряжений, если катушка индуктивностью 0,1 мГн и конденсатор емкостью 1 мкФ соединены последовательно? Определить емкость конденсатора, если резонанс в цепи при индуктивности катушки 10 мГн происходит на частоте 100 кГц.

384. Какова должна быть индуктивность катушки в цепи переменного тока, состоящей из параллельно включенных конденсатора и катушки, чтобы резонанс был при частоте 1000 Гц? Емкость конденсатора 10 мкФ.

385. В цепи, векторная диаграмма которой представлена на рис. 38, *в*, закоротили все реактивные сопротивления. Как изменится ток в цепи?

386. Изобразить векторные диаграммы токов и напряжений в LC-контурах (см. рис. 34): а) при резонансе токов; б) при резонансе напряжений.

387. Мгновенное значение напряжения (В) на конденсаторе в резонансной цепи определяется выражением $u = 60 \sin 314t$. Определить индуктивность катушки, при которой происходит резонанс, период, длину волны и выражение для мгновенного значения тока в цепи, если емкость конденсатора 10 мкФ?

388. При индуктивности катушки 0,1 мГн резонансная частота цепи LC была равна 10 кГц. Какова будет резонансная частота цепи при индуктивностях: 0,2; 0,4; 0,01 мГн?

389. При емкости конденсатора 10 мкФ резонансная частота цепи LC была равна 50 кГц. Какова будет резонансная частота цепи при емкостях 0,1; 1; 3 мкФ?

390. Для резонансной цепи переменного тока выбрана катушка, индуктивность которой 1 мГн $\pm$ 10%, и конденсатор емкостью 1 мкФ $\pm$ 5%. Определить диапазон изменения резонансной частоты этой цепи.

391. Какие причины могут вызвать нарушение резонанса напряжений, который имеет место в цепи переменного тока?

392. Найти действующие значения тока, напряжения и активную, реактивную и полную мощности цепи, если мгновенные значения тока (А) и напряжения (В) определяются следующими выражениями: $i = 30 \sin(314t - 70°)$, $u = 150 \sin(314t - 50°)$.

393. Нагрузка включена в сеть напряжением 127 В и потребляет ток 0,3 А. Определить активную, реактивную и полную мощности, если разность фаз напряжения и тока $\varphi = 0$, 30, 60, 90°

394. Цепь переменного тока потребляет полезную мощность 200 Вт. Найти мощность потерь цепи, если ее кпд равен 0,9.

395. Два потребителя включены в сеть напряжением 220 В и потребляют одинаковый ток 5 А. Один потребитель имеет коэффициент мощности $\cos\varphi = 0{,}88$,

другой — 0,69. Определить активные мощности обоих потребителей.

396. Каково допустимое действующее значение переменного тока, который протекает по проводнику сопротивлением 50 Ом, если допустимая мощность 0,25 Вт?

397. В цепи (см. рис. 34, *а*) емкость конденсатора может изменяться, а параметры остальных элементов неизменны и равны $L=10$ мГн, $R=10$ Ом. Определить емкость, при которой активная мощность будет максимальна, если мгновенное значение напряжения (В) на резисторе соответствует выражению $u=110\sin 3140t$. Чему равна максимальная активная мощность?

398. Мгновенное значение тока (А) в цепи с катушкой индуктивности соответствует выражению $i=10{,}8 \sin 314t$. Определить полную, активную и реактивную мощности и действующее значение тока в цепи, если активное сопротивление катушки 1,8 Ом, а индуктивность 0,01 Гн.

399. Определить полную, активную и реактивную мощности нагрузки при коэффициентах мощности, равных 0 и 1, если ток и напряжение нагрузки равны 5 А и 220 В. Какой нагрузке соответствуют указанные коэффициенты мощности?

400. При увеличении коэффициента мощности нагрузки на 0,4 активная мощность в ней возросла в 2 раза? Чему равен первоначальный коэффициент мощности нагрузки?

401. Коэффициенты мощности двух параллельных ветвей цепи $\cos\varphi_1=0{,}8$ и $\cos\varphi_2=0{,}6$. Определить коэффициент мощности всей цепи, учитывая, что токи в ветвях равны и имеют индуктивный характер.

402. Цепь переменного тока (см. рис. 34, *а*), элементы которой имеют параметры: $R=100$ Ом, $L=3$ мГн и $C=0{,}5$ мкФ, подключена к источнику переменного напряжения 60 В. Определить активную, реактивную и полную мощности цепи на следующих частотах: а) $1/2\, f_{рез}$; б) $f_{рез}$; в) $2f_{рез}$.

403. Электрическая цепь подключена к источнику переменного напряжения, мгновенное значение которого определяется выражением $u=U_0+U_m\sin\omega t$, причем $U_m=100$ В, $\omega=314$ рад/с, $U_0=10$ В (постоянная составляющая). Найти активную, реактивную и полную мощности цепи, если ее активное сопротивление 100 Ом, а реактивное 1 кОм.

404. В производственном помещении ежедневно в течение 12 ч использовались три двигателя полной мощностью 2,5 кВА и коэффициентом мощности $\cos\varphi = 0{,}85$, а также в течение 8 ч 30 ламп мощностью по 100 Вт каждая. Найти стоимость потребляемой суточной электроэнергии.

405. Как осуществляется защита электроаппаратуры и соединительных проводов от влияния внешних электромагнитных полей?

§ 15. Последовательное, параллельное и смешанное соединения элементов цепей

Последовательное соединение конденсаторов чаще всего применяется, когда рабочее напряжение цепи выше допустимого напряжения конденсатора. При этом величина, обратная эквивалентной емкости последовательного соединения конденсаторов, равна сумме обратных величин их емкостей:

$$1/C_{\text{экв посл.}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \ldots + 1/C_n. \qquad (73)$$

При параллельном соединении конденсаторов эквивалентная емкость равна сумме емкостей отдельных конденсаторов·

$$C_{\text{экв парал.}} = C_1 + C_2 + \ldots + C_n. \qquad (74)$$

Определение эквивалентной индуктивности последовательного и параллельного соединения катушек индуктивности аналогично соответствующим соединениям резисторов:

$$L_{\text{экв. посл.}} = L_1 + L_2 + \ldots + L_n,$$
$$1/L_{\text{эк парал.}} = 1/L_1 + 1/L_2 + \ldots + 1/L_n. \qquad (75)$$

Емкостное и индуктивное сопротивления при последовательном соединении однотипных элементов равны:

$$X_{C\text{экв}} = 1/\omega C_{\text{экв. посл.}}, \quad X_{L\text{экв}} = \omega L_{\text{экв посл.}}. \qquad (76)$$

При параллельном соединении однотипных элементов проводимости равны:

$$g_{\text{экв}} = 1/R_{\text{экв}}; \quad b_{C\text{экв}} = \omega C_{\text{экв парал.}}; \quad b_{L\text{экв}} = 1/\omega L_{\text{экв. парал.}}, \qquad (77)$$

где g и b — активная и реактивная проводимости, См.

При последовательном соединении конденсаторов и катушек индуктивности

$$X_{\text{цепи экв}} = \omega L_{\text{экв посл}} - \frac{1}{\omega C_{\text{экв. посл}}}. \qquad (78)$$

При параллельном соединении конденсаторов и катушек индуктивности

$$b_{\text{цепи экв}} = \frac{1}{\omega L_{\text{экв. парал.}}} - \omega C_{\text{экв парал.}}. \qquad (79)$$

В обоих случаях положительный знак общего сопротивления цепи соответствует индуктивному, а отрицательный — емкостному характеру сопротивления цепи.

При соединениях активных и реактивных элементов полное сопротивление z и полную проводимость y находят так:

$$z = R_{\text{экв}} + j(X_{L\text{экв}} - X_{C\text{экв}}); \quad y = g_{\text{экв}} + j(b_{C\text{экв}} - b_{L\text{экв}}). \qquad (80)$$

В частности, для резонансных цепей (см. рис. 34) можно соответственно записать:

$$z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \qquad (81)$$

$$y = \sqrt{g^2 + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2}$$

Следует отметить, что катушки индуктивности имеют также определенное активное сопротивление обмоток и зависимости (75—81) справедливы для тех случаев, когда этим сопротивлением можно пренебречь.

Полное сопротивление катушки с активным сопротивлением R_a определяется по соотношению

$$z_L = \sqrt{R_a^2 + (\omega L)^2}. \qquad (82)$$

Для характеристики реальных катушек индуктивности применяется понятие добротности: $Q_L = \omega L / R_a$.

Реальные конденсаторы имеют также шунтирующее активное сопротивление $R_ш$, и полная проводимость конденсатора определяется по соотношению

$$y_C = \sqrt{(1/R_ш)^2 + (\omega C)^2}. \qquad (83)$$

Для характеристик реальных конденсаторов вводятся понятия добротности $Q_C = \omega C R_ш$, а также тангенса угла диэлектрических потерь $\mathrm{tg}\delta = 1/Q_C$.

Потери напряжения в линиях передачи рассчитывают по следующему выражению:

$$\Delta U = I R_л \cos\varphi + I X_л \sin\varphi, \qquad (84)$$

где $R_л$ и $X_л$ — активное и реактивное сопротивления линии передачи.

Важной характеристикой, определяющей эффективность применения электрической энергии переменного тока, является коэффициент мощности ($\cos\varphi$). Низкое значение $\cos\varphi$ вызывает неполное использование мощности генераторов, линий передач и трансформаторов. В тех случаях, когда характер нагрузки не позволяет получить высокий $\cos\varphi$, используется компенсация сдвига фаз с помощью подключения конденсатора, емкость которого находится из зависимости

$$C = \frac{P}{\omega U^2}(\operatorname{tg}\varphi_н - \operatorname{tg}\varphi), \qquad (85)$$

где $\varphi_н$ и φ — требуемый и реальный фазовые сдвиги.

ЗАДАЧИ

406. Между точками *a* и *b* цепи включены пять одинаковых резисторов, как показано на схеме (рис. 42, *а*). Определить эквивалентное сопротивление на этом участке.

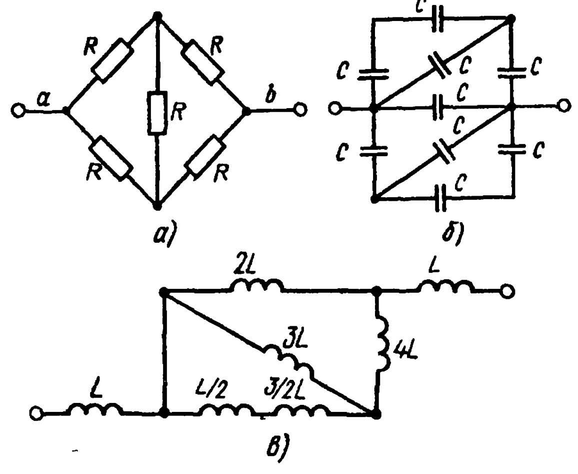


Рис. 42. *а*—к задаче 406; *б*—к задаче 410; *в*—к задаче 426

407. Для освещения в сеть переменного напряжения 220 В нужно включить последовательно пять ламп, каждая из которых имеет мощность 100 Вт и сопротивление 13 Ом. Каково сопротивление добавочного резисто-

ра, который надо включить, чтобы мощность, выделяемая на каждой лампе, не превышала номинальную?

408. Три лампы мощностью 40, 40, 80 Вт с номинальным напряжением 110 В необходимо подключить к сети переменного напряжения 220 В. Составить такую схему подключения, чтобы лампы имели нормальный накал, и найти ток в цепи.

409. Найти эквивалентное сопротивление двух: а) последовательно; б) параллельно соединенных конденсаторов емкостью $C_1=1$ мкФ и $C_2=3$ мкФ при частоте тока 100 Гц. Построить векторные диаграммы для этих случаев.

410. Чему равна эквивалентная емкость всей батареи (рис. 42, *б*) если емкость каждого конденсатора равна C?

411. Определить емкость конденсатора, который необходимо включить последовательно с конденсатором емкостью 10 мкФ, при условии, чтобы эквивалентная емкость всей цепи составляла 3 мкФ.

412. Три конденсатора, соединенные последовательно, имеют одинаковую емкость, равную C. Как изменится эквивалентная емкость цепи, если один из них закоротить?

413. Батарея конденсаторов, состоящая из трех параллельных групп по пять последовательно включенных конденсаторов в каждой группе, подключена к источнику переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц. Вычислить ток, мощность и максимальную энергию электрического поля батареи, если емкость каждого конденсатора 5 мкФ.

414. К сети переменного напряжения частотой 50 Гц подключено шесть конденсаторов, емкости которых соответственно равны: $C_1=0{,}5$ мкФ, $C_2=0{,}4$ мкФ, $C_3=0{,}8$ мкФ, $C_4=1{,}5$ мкФ, $C_5=0{,}1$ мкФ, $C_6=1$ мкФ. Определить токи и напряжения на конденсаторах при их параллельном и последовательном включениях, если в первом случае ток в третьем конденсаторе составлял 1 мА, а во втором случае напряжение на нем было 10 В.

415. При последовательном подключении к конденсатору емкостью C_1 конденсатора емкостью $C_2=1$ мкФ эквивалентная емкость цепи стала равной 0,2 мкФ. Чему будет равна эквивалентная емкость цепи, если к конденсатору емкостью C_1 подключить конденсатор емкостью 0,1, 5; 10 мкФ? Построить графики зависимости $C_{экв}=f(C_1)$ при $C_2=1$, 0,5; 2 мкФ

416. Одна цепь состоит из конденсаторов, соединенных последовательно, а другая — соединенных параллельно, причем количество конденсаторов и их емкости одинаковы. В каком случае эквивалентная емкость будет больше?

417. При каком соотношении емкостей двух конденсаторов эквивалентная емкость их последовательного соединения будет в четыре раза меньше эквивалентной емкости их параллельного соединения?

418. Доказать, что эквивалентная емкость двух последовательно подключенных конденсаторов не может быть больше емкости любого из них.

419. В цепи из трех конденсаторов со следующими номинальными емкостями и допусками на них: 10 мкФ $\pm 1\%$; 5 мкФ $\pm 3\%$ и 3 мкФ $\pm 2\%$ найти номинальную емкость цепи при их последовательном и параллельном подключении. Какова погрешность определения номинальной емкости цепи?

420. Определить эквивалентную емкость цепи, состоящей из пятнадцати последовательно подключенных конденсаторов, если емкость каждого из них больше предыдущей в 3 раза, а емкость первого 1 мкФ.

421. Определить эквивалентную емкость цепи, состоящей из одиннадцати параллельно подключенных конденсаторов, если емкость каждого из них больше предыдущей на 0,1 мкФ, а емкость первого 1 мкФ.

422. Начертить схему параллельного (рис. 43, *а*) и последовательного (рис. 43, *б*) присоединения конденсаторов к выводам *a* и *b* источника переменного напряжения.

a
b
а)
a
b
б)
1
2
3
4
a
b
в)

Рис. 43. *а, б*—к задаче 422; *в*—к задаче 423

423. Начертить схемы присоединения конденсаторов к выводам *a* и *b* источника переменного напряжения (рис. 43, *в*) для последующих вариантов: а) последовательно соединены 1-й и 2-й, параллельно — 3-й и 4-й конден-

саторы; б) последовательно соединены 1-й и 3-й, параллельно — 2-й и 4-й конденсаторы; в) последовательно соединены 2-й и 3-й, параллельно — 1-й и 4-й конденсаторы.

424. Найти эквивалентные сопротивления двух: а) последовательно; б) параллельно соединенных катушек, индуктивности которых $L_1 = 1$ мГн и $L_2 = 9$ мГн, при частоте тока 100 Гц. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для этих случаев.

425. Найти эквивалентную индуктивность цепи, состоящей из: а) последовательно; б) параллельно соединенных катушек, индуктивности которых $L_1 = 3$ мГн, $L_2 = 5$ мГн, $L_3 = 7$ мГн.

426. Определить эквивалентную индуктивность цепи, изображенной на рис. 42, *в*.

427. Две индуктивно связанные катушки, имеющие индуктивности 5 и 20 мГн, подключены последовательно к сети переменного напряжения частотой 100 Гц. Определить индуктивное сопротивление цепи при встречном и согласном включении катушек, если коэффициент связи $k_{св} = 0{,}6$.

428. К сети переменного напряжения частотой 50 Гц подключено пять катушек, индуктивности которых $L_1 = 1$ мГн, $L_2 = 5$ мГн, $L_3 = 3$ мГн, $L_4 = 10$ мГн, $L_5 = 4$ мГн. Определить токи и напряжения катушек индуктивности при их последовательном и параллельном включениях, если в первом случае напряжение на четвертой катушке 1 В, а во втором случае ток этой катушки 0,1 А.

429. При каком соотношении индуктивностей двух катушек эквивалентная индуктивность их параллельного соединения будет в 10 раз меньше эквивалентной индуктивности их последовательного соединения?

430. Найти номинальную индуктивность цепи, состоящей из трех катушек со следующими номинальными индуктивностями и допусками на них: 2 мГн $\pm 5\%$; 5 мГн $\pm 2\%$; 3,5 мГн $\pm 1\%$, если они соединены параллельно. Рассчитать погрешность определения номинальной индуктивности.

431. Ток катушки индуктивности, подключенный к сети постоянного напряжения 110 В, равен 10 А, а ток той же катушки, подключенной к сети переменного напряжения 380 В частотой 50 Гц, в пять раз меньше. Приняв активное сопротивление катушки неизменным, определить ее индуктивность.

432. Чему равна эквивалентная индуктивность цепи, состоящей из тринадцати включенных последовательно между собой дросселей без взаимной связи, если индуктивность каждого последующего дросселя в 2,5 раза меньше индуктивности предыдущего, а индуктивность первого дросселя составляет 0,1 Гн?

433. Используя рис. 16, доказать, что длина отрезка ef соответствует: а) эквивалентной емкости двух последовательно соединенных конденсаторов, емкости которых численно равны длинам отрезков ac и bd; б) эквивалентной индуктивности двух параллельно соединенных катушек, индуктивности которых равны длинам тех же отрезков.

434. Резистор сопротивлением 90 Ом и конденсатор емкостью 5 мкФ включены последовательно. Найти напряжения резистора, конденсатора и всей цепи, если ток в цепи 0,5 А, а частота 50 Гц.

435. Конденсатор и электрическая лампа соединены последовательно и включены в сеть переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц. Какую емкость должен иметь конденсатор для того, чтобы лампа номинальной мощностью 60 Вт и напряжением 127 В имела нормальный накал?

436. Конденсатор емкостью 2 мкФ и резистор сопротивлением 5 кОм подключены к сети переменного напряжения частотой 50 Гц. Найти полное сопротивление цепи при последовательном и параллельном подключении элементов.

437. К цепи, состоящей из параллельно соединенных резистора сопротивлением 10 кОм и конденсатора емкостью 1 мкФ, приложено напряжение (В), мгновенное значение которого соответствует выражению $u = 100 \sin 314t$. Найти выражение для мгновенного значения тока цепи.

438. Электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных переменного резистора R и конденсатора $C = 10$ мкФ, подключена к источнику переменного напряжения $u = 220 \sin 314t$, В. Определить активную мощность, ток и коэффициент мощности цепи при сопротивлениях $R = 0$, 100, 500 и 750 Ом.

439. Конденсатор разряжается через резистор сопротивлением 1 кОм, причем ток (мА) меняется по закону $i = 10e^{-t/\tau}$. Найти напряжение на резисторе в моменты времени 1, 2, 5 мс, если постоянная времени $\tau = 1$ мс.

Определить, в какой момент времени напряжение на резисторе будет равно 5 В.

440. При зарядке конденсатора напряжение (В) на его выводах меняется по закону $u=U_0\ (1-0{,}8e^{-t/\tau})$ Определить напряжение конденсатора в начале и в конце зарядки. Построить график изменения напряжения в диапазоне $0\div10$ мс, если постоянная времени $\tau=2$ мс

441. При исследовании экспоненциальных зависимостей $u=U_0e^{-t/\tau}$ или $u=U_0\ (1-e^{-t/\tau})$ применяют следующий графический способ определения постоянной времени τ: в начале координат проводят касательную к экспоненте. Доказать, что точка пересечения касательной с линией установившегося значения определяет время, равное τ.

442. В сеть переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц включена индуктивная нагрузка, активное сопротивление которой 10 Ом. Найти полное сопротивление нагрузки и ее индуктивность, если ток 10 А.

443. В сеть переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц включена цепь, состоящая из последовательно соединенных резистора сопротивлением 15 Ом и катушки индуктивность которой 50 мГн. Чему равны токи и напряжения резистора и катушки, а также угол сдвига фаз между током и напряжением? Активным сопротивлением катушки пренебречь.

444. К цепи, состоящей из параллельно соединенных катушки с активным сопротивлением 1 Ом и индуктивностью 5 мГн и резистора сопротивлением 10 Ом, приложено напряжение (В), мгновенное значение которого определяется выражением $u=10\sin 314t$. Найти выражение для мгновенного значения тока цепи.

445. Цепь, состоящая из последовательно соединенных переменного резистора R и катушки индуктивности $L=100$ мГн, подключена к источнику переменного напряжения $u=220\sin 314t$, В. Определить активную, реактивную мощности, ток и коэффициент мощности цепи при сопротивлениях $R=0$, 30, 100 и 200 Ом

446. Обмотка катушки индуктивности имеет 300 витков и выполнена из медного провода ∅ 0,5 мм. При какой частоте переменного тока полное сопротивление этой катушки будет вдвое больше ее активного сопротивления, если средняя длина магнитных силовых линий катушки 0,3 м и средний диаметр намотки 0,03 м?

447. В каком диапазоне меняется полное сопротивление катушки с активным сопротивлением 3 Ом и индук

тивностью 5 мГн, если частота напряжения меняется от 1 до 3 кГц?

448. В цепи, состоящей из резистора и катушки индуктивности, соединенных последовательно, действующее значение тока 2 А при частоте 100 Гц и 3 А при частоте 50 Гц. Определить сопротивление резистора и индуктивность катушки, если напряжение питания 220 В.

449. Цепь переменного тока обладает активным R и индуктивным X_L сопротивлениями. Доказать, что максимальная активная мощность будет выделяться в этой цепи при равенстве $X_L = R$. Построить график зависимости $P = f(R)$ в диапазоне $R = 50 \div 500$ Ом, приняв $X_L = 100$ Ом и напряжение цепи $U = 220$ В.

450. Эдс самоиндукции (В) изменяется по закону $e = 100e^{-t/\tau}$. Найти эдс самоиндукции в моменты времени 1, 3, 5 мс, если постоянная времени $\tau = 2$ мс. В какой момент времени эдс самоиндукции будет равна 100 В?

451. В сеть переменного напряжения 220 В необходимо включить нагрузку с напряжением питания 150 В и потребляемой мощностью 100 Вт. Для компенсации избыточного напряжения были использованы: а) резистор, б) катушка индуктивности с активным сопротивлением 10 Ом. Найти кпд цепей в обоих случаях.

452. Вычислить эквивалентное сопротивление: а) последовательно; б) параллельно соединенных конденсатора емкостью 1 мкФ и катушки, индуктивность которой 10 мГн, при частоте тока 1 кГц. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для этих случаев.

453. Цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора, катушки индуктивности и резистора, подключена к сети переменного напряжения 220 В. Определить напряжение на резисторе, если реактивные сопротивления конденсатора и катушки соответственно в два и в три раза больше, чем сопротивление резистора.

454. Выражение для мгновенного значения тока цепи (мА), состоящей из последовательно соединенных катушки с активным сопротивлением 500 Ом и индуктивностью 0,1 Гн и конденсатора емкостью 10 мкФ, имеет вид $i = 10 \sin 314t$. Найти выражение для мгновенного значения напряжения цепи.

455. Доказать, что соотношения $RC, L/R$ и $\sqrt{LC}$ имеют размерности времени.

456. Цепь состоит из последовательно соединенных резистора сопротивлением 10 Ом$\pm 5\%$, конденсатора ем-

костью 50 мкФ и катушки, индуктивность которой 0,1 Гн. Определить номинальное полное сопротивление цепи и погрешность его определения, если частота переменного тока 50 Гц.

457. С какой целью параллельно потребителям электроэнергии с большим индуктивным сопротивлением включают конденсаторы?

458. Активная проводимость цепи 0,05 См, а реактивная 0,03 См. Найти полное сопротивление и ток в цепи, если приложенное напряжение 220 В.

459. Цепь переменного тока состоит из последовательно соединенных резистора сопротивлением 100 Ом, катушки с активным 10 Ом и индуктивным 80 Ом сопротивлениями, конденсатора с емкостным сопротивлением 180 Ом. Вычислить полное сопротивление цепи и напряжение на ее выводах, если ток в цепи 0,3 А.

460. Найти эквивалентное сопротивление и общий ток в цепи (см. рис. 41, а), подключенный к источнику переменного напряжения $u = 220\sin 314t$, В. Элементы цепи имеют следующие параметры: $R_1 = 150$ Ом, $R_2 = 200$ Ом, $L = 75$ мГн, $C = 10$ мкФ.

461. Найти токи и напряжения на элементах цепи (см. рис. 41, б), подключенной к источнику перемен ного напряжения $u = 110\sin 628t$, В. Элементы цепи имеют следующие параметры: $R_1 = R_2 = 100$ Ом, $L = 10$ мГн, $C = 0{,}1$ мкФ.

462. Определить полное сопротивление цепи и напря жение на ее выводах, если цепь состоит из двух параллельных ветвей (см. рис. 41, *в*), элементы которых имеют следующие параметры: $R_1 = 150$ Ом, $X_{L1} = 200$ Ом $R_2 = 250$ Ом, $X_{L2} = 100$ Ом. Ток в неразветвленной части цепи 0,8 А.

463. Фазовращатель, схема которого приведена на рис 44, *а*, подключается к источнику переменного напряжения $u = 220\sin 314t$, В. Сопротивления $R_2 = R_3 = 200$ Ом, емкость конденсатора $C = 10$ мкФ. Найти выходное напряжение фазовращателя и его фазу при сопротивлениях $R = 0$, 200, 1000 и 4000 Ом.

464. Найти эквивалентные полное, активное и реактивное сопротивления цепи на рис. 44, *б*, используя правила преобразования электрических схем, если $R_1 = R_3 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_4 = 8$ Ом, $X_{L2} = X_{L3} = 10$ Ом, $X_{L1} = 25$ Ом, $X_{C1} = X_{C4} = 25$ Ом, $X_{C2} = 40$ Ом, $X_{C3} = 10$ Ом

465. Нагрузка включена в сеть переменного напряжения 127 В частотой 50 Гц, причем потребляемая мощность

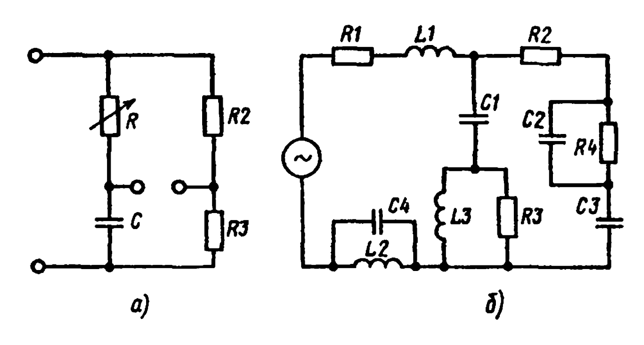


Рис. 44. *а*—к задаче 463; *б*—к задаче 464

880 Вт при коэффициенте мощности 0,9. Определить активное, реактивное и полное сопротивления нагрузки, а также ток в ней. Построить треугольники мощностей и сопротивлений

466. При какой частоте переменного тока: а) полное сопротивление резонансной цепи на рис. 34, *а* будет минимальным; б) полная проводимость резонансной цепи на рис. 34, *б* будет минимальной? Построить треугольники мощностей и сопротивлений для указанных цепей.

467. Для последовательной резонансной цепи на рис. 34, *а* треугольники сопротивлений на частотах 5 и 20 кГц были конгруэнтны. Найти, при каком соотношении индуктивности L и емкости C выполняется это условие.

468. Построить частотные характеристики $I=\varphi(f)$ и $z=\varphi(f)$ для резонансных цепей (см. рис. 34, *а, б*), если при последовательном и параллельном соединениях элементов цепи в обоих случаях $R=5$ Ом, $L=0{,}5$ мГн, $C=0{,}15$ мкФ. Цепи питаются переменным напряжением 40 В, частота которого изменяется от 1 до 40 кГц.

469. Последовательная резонансная цепь подключена к источнику переменного напряжения 36 В. Параметры цепи выбраны следующие: $R=10$ Ом, $L=10$ мГн, $C=1$ мкФ. Найти полосу частот, в пределах которой ток уменьшается в два раза по сравнению с резонансным значением.

470. Катушка индуктивности с $L=10$ мГн и активным сопротивлением $R_a=2$ Ом подключается к источнику переменного напряжения $u=36\sin 314t$, В. Определить добротность катушки и потери мощности на нагревание обмоток.

471. Конденсатор емкостью $C=10$ мкФ и шунтирующим сопротивлением $R_ш=5$ кОм подключается к источнику переменного напряжения $u=36\sin 314t$, В. Определить тангенс угла диэлектрических потерь и потери мощности в изоляции конденсатора.

472. Обмотка катушки индуктивности с числом витков $\omega=100$ намотана на магнитный сердечник из литой стали с параметрами $S=4\cdot10^{-4}$ м^2 и $l=0{,}2$ м. Какое активное сопротивление должна иметь обмотка, чтобы при токе (А) в ней $i=0{,}8\sin 314t$ добротность была не менее 10. Потерями в стали пренебречь.

473. Пик-трансформатор представляет собой катушку индуктивности, обмотка которой с числом витков $\omega=100$ намотана на сердечник из литой стали с параметрами $S=5\cdot10^{-4}$ м^2 и $l=0{,}3$ м. Найти напряжение пик-трансформатора в моменты времени $t=0$; $0{,}05\ T$; $0{,}1\ T$ и $0{,}25\ T$, если ток (А) его обмотки $i=3\sin 314t$.

474. На рис. 23, *а* приведена принципиальная схема магнитного усилителя, в котором управляющая обмотка с числом витков $\omega_1=500$ и рабочая обмотка с числом витков $\omega_2=50$ намотаны на сердечник из литой стали с параметрами $S=4\cdot10^{-4}$ м^2 и $l=0{,}2$ м. Найти напряжение на рабочей обмотке при токах через нее 0,5; 1,5 и 3 А, если ток управляющей обмотки равен 0,25 А.

475. Последовательно с катушкой индуктивности, обмотка которой с числом витков $\omega=100$ намотана на сердечник из литой стали с параметрами $S=4\cdot10^{-4}$ м^2 и $l=0{,}2$ м, включен конденсатор емкостью $C=500$ мкФ. Цепь подсоединена к источнику переменного напряжения частотой 50 Гц. При каком токе напряжение на катушке индуктивности будет равно напряжению на конденсаторе, т. е. возникает явление феррорезонанса.

476. Определить потерю напряжения в линии передачи длиной 5 км, выполненной из алюминиевого провода ∅ 5 мм, которая соединяет потребитель, имеющий напряжение 220 В, сопротивления — активное 500 Ом и реактивное 50 Ом, с источником переменного напряжения. Реактивным сопротивлением линии передачи пренебречь.

477. В каких случаях напряжение на концах линии передачи может оказаться выше напряжения генератора?

478. Определить коэффициент мощности потребителя, если: а) напряжение 127 А, ток 10 А, мощность 1 кВт; б) активное сопротивление 100 Ом, реактивное сопротивление 10 Ом; в) активный ток 100 А, реактивный ток 50 А.

479. При токе 50 А и напряжении 127 В приемник электрической энергии потребляет мощность 5 кВт. Найти емкость батареи конденсаторов, которую необходимо включить параллельно приемнику, чтобы коэффициент мощности повысился до 0,96, если частота питающего напряжения 50 Гц.

480. Потребитель с коэффициентом мощности 0,45 подключен к промышленной сети переменного напряжения 220 В. Чему равна емкость конденсатора, который необходимо подключить для повышения коэффициента мощности в два раза, если потребляемый ток 20 А?

481. Почему для подключения конденсатора с целью повышения $\cos\varphi$ необходимо разрешение энергосистемы или электрической подстанции?

482. Начертить схему параллельного присоединения элементов к источнику переменного напряжения (рис. 45).

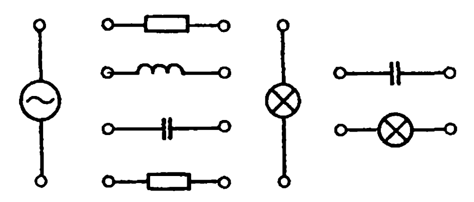


Рис. 45. К задаче 482

483. Составить такую принципиальную схему подключения двух потребителей электрической энергии, чтобы при срабатывании предохранителя в цепи одного из них режим работы второго потребителя не изменялся.

484. Составить такую принципиальную электрическую схему включения светильника, состоящего из пяти ламп, чтобы можно было раздельно включить две, три и пять ламп.

485. Составить принципиальную электрическую схему, позволяющую раздельно включать электротехническое устройство из трех различных мест.

§ 16. Трехфазная система переменного тока

Трехфазной системой переменного тока называется цепь или сеть переменного тока, в которой действует три эдс одинаковой частоты, начальные фазы которых смещены на 1/3 периода (рис. 46). Отдельные цепи, составляющие трехфазную систему, называются фазами

Совокупность токов, напряжений и эдс, действующих в фазах трехфазной цепи, называется трехфазной системой токов, напряжений или эдс.

Трехфазная система называется симметричной, если эдс и нагрузки во всех фазах имеют одинаковые значения.

Рис. 46. Осциллограммы эдс трехфазной системы переменного тока

Рис. 47 Схемы соединения обмоток источника (трехфазного генератора): *а*—звездой; *б*—треугольником

Выражения для мгновенных значений эдс соответствующих фаз определяются следующим образом:

$$e_A = E_m \sin\omega t; \; e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right); \; e_C = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (86)$$

На практике применяют два способа соединения цепей в трехфазной системе: соединение звездой и соединение треугольником (рис. 47).

При соединении звездой

$$U_л = \sqrt{3} U_ф; \; I_л = I_ф. \quad (87)$$

При соединении треугольником

$$U_л = U_ф; \; I_л = \sqrt{3} I_ф, \quad (88)$$

где $I_л$ и $U_л$ линейные ток и напряжение; $I_ф$ и $U_ф$ фазные ток и напряжение.

Потребители энергии подключаются звездой и треугольником.

Активная мощность, потребляемая от трехфазной сети, при симметричной нагрузке независимо от способа ее включения определяется так:

$$P=\sqrt{3}U_{л}I_{л}\cos\varphi;\ P=3U_{ф}I_{ф}\cos\varphi. \qquad (89)$$

Способ соединения трехфазной нагрузки не зависит от способа соединения трехфазного генератора. Возможнось переключения фаз с соединения звездой на соединение треугольником часто используется для регулирования тока и мощности.

ЗАДАЧИ

486. Выражение для мгновенного значения эдс (В) одной из фаз трехфазной системы переменного тока имеет вид: $e_A=220\sin(314t-120°)$. Найти выражения для мгновенных значений эдс других фаз, а также их действующие значения.

487. К трехфазной сети с линейным напряжением 380 В подключена симметричная нагрузка, активное сопротивление которой в каждой фазе 5 Ом, а индуктивное 2 Ом. Вычислить фазные токи и напряжения при включении нагрузки: а) звездой, б) треугольником.

488. К трехфазной сети с линейным напряжением 220 В подключена симметричная нагрузка, активное сопротивление которой в каждой фазе 1 Ом, а емкостное 2,5 Ом Найти фазные токи и напряжения при включении нагрузки: а) звездой; б) треугольником.

489. К трехфазной сети с нулевым проводом подключена несимметричная нагрузка, фазы которой характеризуются следующими параметрами: фаза $A-R_A=0{,}8$ Ом; $X_{LA}=1{,}2$ Ом; фаза $B-R_B=0{,}4$ Ом; $X_{LB}=2$ Ом; фаза $C-R_C=1$ Ом; $X_{LC}=1{,}8$ Ом. Определить линейные токи и напряжения, если нагрузка соединена звездой, а фазные напряжения равны 220 В. Найти коэффициент мощности каждой фазы.

490. К трехфазной сети с линейным напряжением 220 В подключена несимметричная нагрузка, фазы которой характеризуются следующими параметрами: фаза $A-R_A=0{,}3$ Ом; $X_{LA}=1$ Ом; фаза $B-R_B=0{,}8$ Ом; $X_{LB}=1{,}2$ Ом; фаза $C-R_C=0{,}5$ Ом; $X_{LC}=1{,}6$ Ом Определить фазные токи, если нагрузка соединена треугольником. Найти коэффициент мощности каждой фазы.

491. Трехфазная нагрузка состоит из трех соединенных звездой катушек, индуктивности которых $L_1=L_2=L_3=$

$=10$ мГн. Найти линейные и фазные напряжения нагрузки, если фазный ток *I* А, а частота 400 Гц.

492. Трехфазная цепь состоит из трех соединенных треугольником конденсаторов емкостью $C_1=C_2=C_3=10$ мкФ. Найти линейные и фазные токи конденсаторов, если фазная эдс 127 В, а частота 50 Гц.

493. Симметричная нагрузка, каждая фаза которой характеризуется параметрами $R=0{,}85$ Ом и $X_L=1{,}8$ Ом, соединена треугольником и подключена к трехпроводной сети. Вычислить сопротивление каждого соединительного провода, если падение напряжения на нем составляет 1% от напряжения фазы потребителя.

494. Определить характер нагрузки каждой фазы трехфазного потребителя электроэнергии по векторной диаграмме фазных токов и напряжений (рис. 48, *а*).

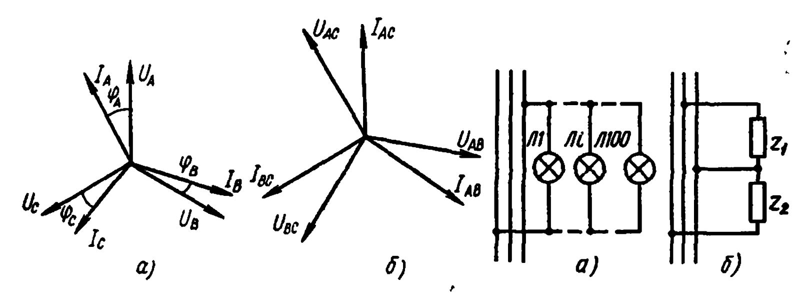


Рис. 48. *а*—к задачам 494, 495; *б*— к задачам 496, 497

Рис. 49. *а* — к задаче 498; *б* — к задаче 499

495. Используя векторную диаграмму на рис. 48, *а*, найти активные и реактивные сопротивления каждой фазы, если векторы токов и напряжений изображены в следующих масштабах: 1 А/мм и 8 В/мм.

496. Определить характер трехфазной симметричной нагрузки по векторной диаграмме фазных токов и напряжений (рис. 48, *б*), если нагрузка соединена треугольником.

497. Используя векторную диаграмму на рис. 48, *б*, найти активные и реактивные сопротивления каждой фазы, если векторы токов и напряжений изображены в следующих масштабах: 1,5 А/мм и 12 В/мм.

498. К трехпроводной трехфазной сети присоединена цепь из 100 электрических ламп мощностью 100 Вт каждая. Определить общий ток цепи, если линейное напряжение сети 220 В (рис. 49, *а*).

499. Два потребителя электрической энергии с пара метрами $R_1=5$ Ом, $X_{L1}=8$ Ом; $R_2=3{,}5$ Ом, $X_{L2}=7{,}2$ Ом подключены к трехфазной сети (рис. 49, *б*). Найти токи и углы сдвига фаз между током и напряжением пот ребителей, если напряжение в каждой фазе 220 В.

500. Осветительная сеть, представляющая собой три ветви по 15 ламп мощностью 100 Вт каждая, под соединена звездой к трехфазной сети с фазным напря жением 220 В. Определить энергию, расходуемую осве тительной сетью в течение 1 ч.

501. Доказать, что при соединении обмоток трехфаз ного генератора и фаз потребителя звездой ток в нулевом проводе равен нулю при условии $z_A=z_B=z_C$.

502. Чему равна алгебраическая суума мгновенных значений линейных токов в симметричной трехфазной це-

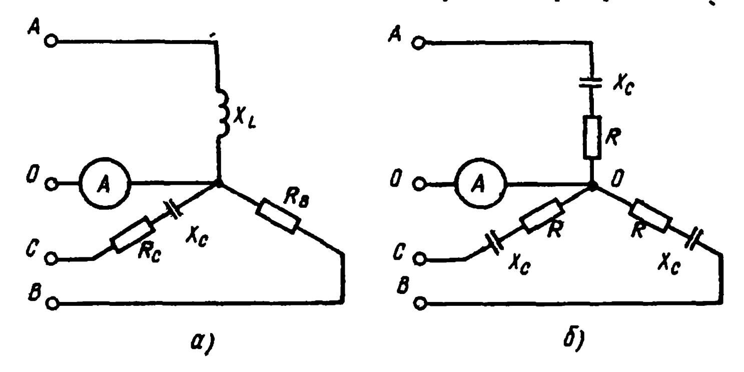


Рис. 50. *а*—к задаче 505; *б*—к задаче 506

пи при соединении обмоток потребителя: а) звездой, б) треугольником? Ответ пояснить с помощью векторной диаграммы.

503. Существует ли магнитное поле вокруг трехфазно го кабеля, подводящего электроэнергию к нагрузке, под ключенной треугольником?

504. Построить векторные диаграммы линейных и фаз ных напряжений в трехфазной системе при соединении обмоток генератора звездой. Построить векторные диаг раммы линейных токов в случае активной, индуктивной и емкостной симметричных нагрузок.

505. Определить показания амперметра в цепи на рис. 50, *а*, если $R_B=0{,}8$ Ом; $X_L=1$ Ом; $X_C=1$ Ом; $R_C=0$ Фазное напряжение равно 220 В в каждой фазе. Постро ить векторные диаграммы инейных токов и напряжений

506. К каждой фазе потребителя (рис. 50, *б*) с параметрами $R=1$ кОм и $X_C=1{,}7$ кОм приложено фазное напряжение 220 В. Построить: а) векторные диаграммы фазных напряжений и токов; б) треугольники сопротивлений и мощностей для каждой фазы. Будет ли давать показания амперметр в этой цепи?

507. Является ли аварийным режимом обрыв нулевого провода при соединении звездой трехфазного генератора и потребителя: а) при симметричной нагрузке; б) при несимметричной нагрузке?

508. Почему на нулевой провод в четырехпроводной трехфазной цепи не ставят предохранитель?

509. Пояснить, как практически можно определить, какой из проводов четырехпроводной трехфазной сети является нулевым.

510. Симметричная нагрузка мощностью 2,5 кВт в каждой фазе подключена звездой к трехфазной сети с линейным напряжением 220 В. Определить токи и напряжения нагрузки при: а) коротком замыкании одной из фаз; б) сгорании предохранителя в фазе *А*.

511. Трехфазный двигатель работает с коэффициентом мощности 0,82 при напряжении сети 220 В и мощности 3,2 кВт. Чему равны линейный и фазный токи? Обмотки двигателя соединены треугольником.

512. Известны линейные напряжение и ток в симметричной трехфазной цепи: $U_л=220$ В и $I_л=100$ А. Найти активную мощность, если угол сдвига фаз между фазными токами и напряжением 10, 30, 45, 60°. Нагрузка включена звездой.

513. Три одинаковые катушки индуктивности с активным 1 Ом и индуктивным 15 Ом сопротивлениями соединены звездой и включены в трехфазную сеть с фазным напряжением 220 В. Определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемые катушками.

514. При изменении активной мощности трехфазной нагрузки на 10 кВт полная мощность увеличилась в два раза, а коэффициент мощности не изменился. Чему равна первоначальная активная мощность всей цепи?

515. Как изменится мощность потребителей, включенных в трехфазную сеть, при переключении их соединения со звезды на треугольник?

516. Два потребителя с симметричными фазами включены в трехфазную сеть переменного тока, причем один — звездой, другой — треугольником. При каком соотношении сопротивлений фаз они потребляют одинаковую мощность,

если коэффициенты мощности одинаковы для обоих потребителей?

517. Каким образом должны быть соединены обмотки трехфазного двигателя, рассчитанные на напряжение 220 В, если напряжение сети 380, 220 В?

518. Что является более опасным для человека: прикосновение к одному проводу или одновременно к двум проводам трехфазной линии?

519. Почему нельзя соединять концы оборвавшегося провода трехфазной линии, предварительно не отключив ее, даже если электромонтер надежно изолирован от земли?

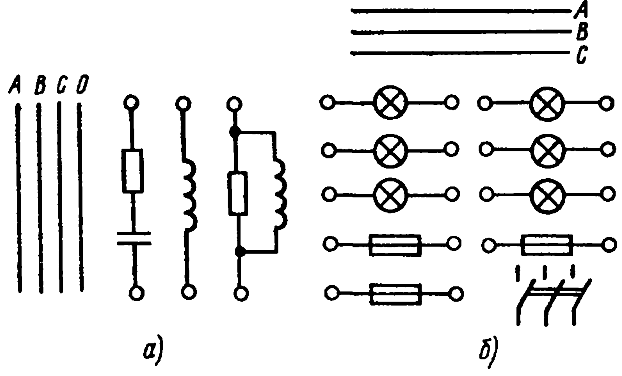


Рис. 51. *а*—к задаче 521; *б*—к задаче 523

520. Составить принципиальную электрическую схему, позволяющую осуществлять переключение фаз потребителя со звезды на треугольник.

521. Составить принципиальную электрическую схему соединения элементов (рис. 51, *а*) к четырехпроводной сети: а) звездой; б) треугольником.

522. Составить такую принципиальную электрическую схему подключения двенадцати одинаковых электронагревательных приборов к трехфазной сети, чтобы нагрузка была симметричной, причем шесть приборов должны быть подключены звездой, а шесть — треугольником.

523. При помощи элементов, данных на рис. 51, *б*, составить принципиальную схему включения симметричной нагрузки, состоящей из шести одинаковых ламп, к трехфазной сети звездой.

524. Поясните принцип действия и назначение магнитных пускателей при комутации однофазных и трехфазных цепей переменного тока.

Глава V

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 17. Основные характеристики электроизмерительных приборов. Погрешности измерений

Абсолютная погрешность измерения представляет собой разность между измеренным и истинным значениями измеряемой величины:

$$\Delta A = A_{и} - A_{д}, \tag{90}$$

где $A_{и}$ измеренное значение; $A_{д}$ — действительное (истинное) значение измеряемой величины.

Относительная погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{д}} \cdot 100\% = \frac{A_{и} - A_{д}}{A_{д}} \cdot 100\%. \tag{91}$$

Основная приведенная погрешность определяется из следующего выражения:

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta A_m}{A_{н}} \cdot 100\%, \tag{92}$$

где ΔA_m — наибольшая возможная абсолютная погрешность при нормальных рабочих условиях (рабочее положение шкалы, температура 293 К, отсутствие внешних магнитных полей, отсутствие вблизи прибора ферромагнитных масс и т. д.); $A_{н}$ — номинальная величина прибора (верхний предел его измерения).

Классом точности прибора называется значение основной допустимой приведенной погрешности $\gamma_{пр}$, округленное до ближайшего числа, соответствующего стандартному ряду классов точности.

Показания приборов определяются по шкалам, которые в зависимости от типа прибора могут быть линейными, квадратичными, логарифмическими и др.

Постоянная прибора (цена деления прибора) c_x (единица измеряемой величины/град или мм) есть величина, на которую необходимо умножить результат отсчета в делениях или миллиметрах шкалы, чтобы получить показание прибора:

$$c_x = \Delta x / \Delta \alpha, \tag{93}$$

где Δx — изменение значения измеряемой величины; $\Delta\alpha$ — линейное (или угловое) перемещение указателя.

Величина, обратная постоянной прибора, называется чувствительностью прибора:

$$s_x = 1/c_x = \Delta\alpha/\Delta x. \qquad (94)$$

Чувствительность прибора численно равна линейному или угловому перемещению указателя, соответствующему единице измеряемой величины.

Угол поворота (град) стрелки указателя измерительного прибора с противодействующей пружиной в измерительном механизме находится по формуле

$$\alpha = BSwI/G, \qquad (95)$$

где G — жесткость противодействующей пружины, Н·м/град.

В зависимости от способа отсчета электроизмерительные приборы подразделяются на приборы непосредственной оценки, к которым относятся магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, ферродинамические, индуктивные и др., и на приборы сравнения, к которым относятся измерительные мосты и компенсационные измерительные устройства.

Наиболее современным видом электроизмерительных приборов являются цифровые. Относительная погрешность измерения с помощью цифровых приборов определяется по формуле

$$\gamma = \pm\left(C + B\frac{A_н}{A_и}\right)\cdot 100\%, \qquad (96)$$

где C и B постоянные коэффициенты, которые указываются в справочной литературе для каждого типа приборов.

ЗАДАЧИ

525. Истинное значение тока в цепи 5,23 А. Амперметр с верхним пределом измерения 10 А показал ток 5,3 А. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

526. В резисторе, истинное значение сопротивления которого 8 Ом, протекает ток 2,4 А. При измерении напряжения на этом резисторе вольтметр показал напряжение 19,3 В. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

527. Найти относительную погрешность измерения при показании вольтметра 12,1 В, если истинное значение напряжения в сети 12,18 В.

528. Какова основная приведенная погрешность прибора с верхним пределом измерения 5 А, если наибольшая абсолютная погрешность при измерении составила 0,12 А?

529. При измерении напряжения на нагрузочном резисторе вольтметр показал 13,5 В. Найти абсолютную и относительную погрешности измерения, если сопротивление резистора 7 Ом. Эдс источника 14,2 В, его внутренее сопротивление 0,1 Ом.

530. Двадцать потребителей электрической энергии включены параллельно. В неразветвленную часть цепи включен амперметр, показание которого 4,2 А. Чему равны абсолютная и относительная погрешности измерения при условии, что потребители одинаковы и ток в каждом из них 0,2 А?

531. Основная приведенная погрешность показаний магнитоэлектрического прибора 0,5%. Какова наибольшая возможная относительная погрешность измерения при отклонении стрелки на 75, 50, 25, 5% его шкалы?

532. При измерении тока прибором с классом точности 2,0 и шкалой 15 А было получено значение 11,5 А. Определить диапазон возможного действительного значения тока.

533. При пятикратном измерении одного и того же напряжения с помощью вольтметра были получены следующие результаты: 6,35; 6,4; 6,3; 6,45; 6,25 В. Считая среднее арифметическое значение измеряемого напряжения истиным его значением, определить границы абсолютной и относительной погрешности.

534. Напряжение в цепи изменяется во времени по закону $u = U_0 + U_m \sin \omega t$, причем вольтметр измеряет только постоянную составляющую напряжения U_0. Определить возникающую при этом дополнительную относительную погрешность, если $U_m = 0{,}1 U_0$.

535. Согласно полученным в результате измерений данным ток в цепи изменялся в зависимости от приложенного напряжения по уравнению $I = kU^2$. Действительная же зависимость тока от напряжения определяется уравнением $I = k(\frac{1}{2}U - 0{,}1)^2$. Определить наибольшую абсолютную погрешность измерения, если коэффициент $k = 1\,\text{А}/\text{В}^2$.

536. В какой части равномерной шкалы прибора относительная погрешность измерения будет наибольшей? Какова визуальная погрешность измерения при помощи приборов со стрелочными указателями?

537. Чему равна наибольшая возможная абсолютная погрешность прибора класса точности 1,0, если верхний предел его измерения 10 А?

538. Классы точности двух вольтметров одинаковы и равны 1,0, а верхние пределы измерения различны: у первого — 50 В, а у второго — 10 В. В каком соотношении будут находиться наибольшие абсолютные погрешности измерения в процессе эксплуатации?

539. Наибольшие абсолютные погрешности измерения при помощи двух миллиамперметров одинаковы, а верхний предел измерения второго прибора больше. В каком отношении находятся классы точности приборов?

540. После ремонта щитового амперметра с классом точности 1,5 и пределом измерения 5 А произвели поверку основной погрешности прибора, которая была наибольшей при токе 2,5 А и составляла 0,03 А. Сохранил ли прибор свой класс точности после ремонта?

541. При измерении тока от 10 до 20 мА указатель магнитоэлектрического миллиамперметра переместился на 10 делений. Определить чувствительность прибора и его постоянную.

542. При изменении измеряемого тока от 5 до 10 мА указатель одного миллиамперметра переместился на 4 деления, а другого — на 7 делений. Определить соотношения между чувствительностями и постоянными приборов.

543. Миллиамперметр рассчитан на ток 200 мА и имеет чувствительность 0,5 дел/мА. Чему равны число делений шкалы, цена деления и измеренный ток, если стрелка миллиамперметра отклонилась на 30 делений?

544. Изменению измеряемого тока на 6 мА соответствовало перемещение стрелки указателя миллиамперметра на 3 деления, а изменению тока на 12 мА — на 6 делений. Показать, что миллиамперметр имеет линейную шкалу, определить цену ее деления и чувствительность прибора.

545. По графику зависимости угла поворота подвижной части миллиамперметра от измеряемого тока (рис. 52,*а*) вычислить чувствительность прибора и цену деления шкалы.

546. Используя график зависимости угла поворота подвижной части амперметра от измеряемого тока (рис 52, *б*), определить чувствительность прибора и цену деления при следующих измеряемых токах: 1, 3, 5 и 8 А Изменение измеряемого тока во всех случаях принять $\Delta x = 0{,}5$ А

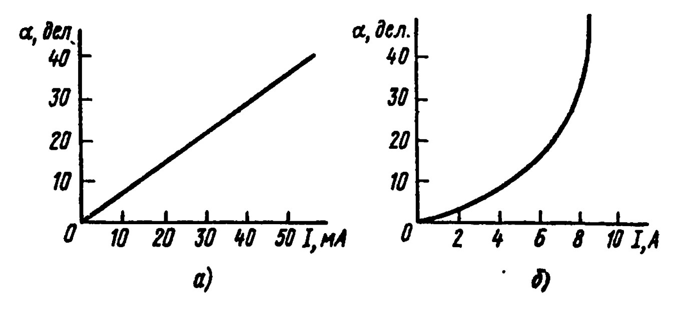


Рис. 52. *а*—к задаче 545· *б*—к задаче 546

547. При измерении тока 0,5 А стрелка амперметра отклонилась на половину линейной шкалы, имеющей 100 делений Определить верхний и нижний пределы измерения, цену деления и чувствительность амперметра.

548. В приборе с квадратичной шкалой отклонение стрелки пропорционально квадрату измеряемой величины. Каким токам соответствует отклонение стрелки прибора: а) на половину шкалы; б) на две трети шкалы в) на одну четверть шкалы если верхний предел измерения составляет 10 А.

549. В приборе с логарифмической шкалой отклонение стрелки пропорционально логарифму измеряемой величины. Каким напряжениям соответствует отклонение стрелки: а) на половину шкалы; б) на две трети шкалы; в) на четверть шкалы, если верхний предел измерения составляет 10 кВ?

550. Цена деления шкалы прибора изменяется в зависимости от угла поворота указателя по уравнениям: а) $c_x = C_0$; б) $c_x = C_0\alpha$; в) $c_x = C_0/\alpha$. Определить характер шкалы измерительного прибора.

551. Прибор с квадратичной шкалой полной длины 100 мм рассчитан на измерение тока от 0 до 10 А Отградуировать шкалу прибора при значениях тока с интервалом 1 А.

552. Прибор с логарифмической шкалой полной длины 100 мм рассчитан на измерение напряжения от 1 В до

10 кВ. Отградуировать шкалу прибора при значениях напряжения 1, 10, 100 и 1000 В.

553. На рис. 53 приведена конструкция шкалы ваттметра, выполненного по схеме логометра и имеющего чувствительность 2 Вт/мм. Определить показания прибора при повороте рамок на 1, 10 и 30°, если длина стрелки указателя 54 мм.

554. Электромагнитный прибор с номинальной величиной 50 мВ имеет сопротивление 10 кОм и шкалу на 50 делений. Определить чувствительность этого прибора к току и потребляемую мощность.

555. Рамка магнитоэлектрического прибора имеет 150 витков, площадь ее сечения $6 \cdot 10^{-4}$ м^2. Определить угловое перемещение рамки при токе 1,2 А, если индукция в воздушном зазоре прибора 0,1 Тл, а жесткость пружины $2 \cdot 10^{-4}$ Н·м/град.

Рис. 53. К задаче 553

556. Рассчитать мощность, выделяемую в катушке измерительного механизма прибора электромагнитной системы с верхним пределом измерения 3 В, если активное сопротивление катушки 1 кОм, индуктивность 0,5 Гн. Прибор рассчитан для измерений на частоте 50 Гц.

557. Приборы каких систем — магнитоэлектрической, электромагнитной или электродинамической — можно использовать для измерений в цепях постоянного и переменного тока?

558. Найти соотношение между вращающими моментами ферродинамического прибора, если в его катушках были установлены сердечники из: а) электротехнической стали; б) литой стали, характеристики которых приведены в приложении 5. Магнитная индукция катушек 1,4 Тл.

559. В индукционных приборах подвижная часть движется в магнитном поле постоянного магнита и при изменениях измеряемой величины быстро устанавливается в соответствующих этой величине положениях. Объяснить принцип действия магнитоиндукционного успокоителя.

560. Электроизмерительный прибор выполнен по схеме логометра. Размеры рамок логометра 0,03×0,03 м. Определить вращающие моменты рамок, если на одну из них действует сила 0,1 Н, а на другую — 0,2 Н.

561. При поверке электроизмерительных приборов установлено, что основная приведенная погрешность их

равна 0,45; 1,2; 1,8%. Какой класс точности имеют приборы?

562. Чему может быть равна абсолютная погрешность измерения с помощью вольтметров с классами точности 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 2,5 со шкалой на 100 В?

563 При измерении угол перемещения указателя электроизмерительного прибора изменяется во времени по закону $\alpha=\alpha_0(1-e^{-t/\tau})$. Определить время успокоения указателя при постоянной времени $\tau=0{,}5$; 1; 2 с, считая его равным интервалу времени, за который достигается значение 0,95 α_0.

564. При испытании изоляции токопроводящих частей электроизмерительных приборов используется поверочное напряжение 2,7 кВ. Какой электрической прочностью должна обладать изоляция толщиной 0,05; 0,1; 0,15 мм?

565. Пояснить, как в электроизмерительных приборах обеспечивается: а) защита от внешних электромагнитных полей; б) быстрая остановка указателя при изменении измеряемой величины.

566. Поставленная при ремонте магнитоэлектрического прибора новая противодействующая пружина оказалась с большим противодействующим моментом. Отразится ли это на показаниях прибора?

567. Пружины электроизмерительных приборов в большинстве случаев изготовляют из фосфористой бронзы. Какими свойствами этого сплава определяется такой выбор?

568. Указать назначение и области применения в электроизмерительной технике биметаллических материалов, пояснив их основные свойства.

569. Каковы преимущества цифровых электроизмерительных приборов перед приборами других систем? Для измерения каких величин применяются цифровые приборы?

§ 18. Измерение тока и напряжения

Для измерения тока амперметр включается в цепь последовательно (рис. 54, *а*), а вольтметр для измерения напряжения — параллельно (р с. 54, *б*).

Постоянные ток и напряжение обычно измеряют приборами магнитоэлектрической системы, а переменные ток и напряжение — приборами электромагнитной системы. Чтобы включение прибора не вызвало изменения измеряемого тока или напряжения, должны выполняться условия: $R_A \ll R_{цепи}$ и $R_V \gg R_{цепи}$.

Для расширения пределов измерения токов и напряжений при помощи амперметров и вольтметров служат соответствующие шунты и добавочные резисторы

Сопротивление шунта (рис. 55,*а*) определяется выражением

$$R_{ш}=R_A/(k_{ш}-1), \qquad (97)$$

где R_A — внутреннее сопротивление амперметра; $k_{ш}=I/I_{н}$ — коэффициент шунтирования, показывающий, во сколько раз измеряемый ток I больше номинального тока измерительного прибора $I_{н}$, т. е. во сколько раз расширяется предел измерения.

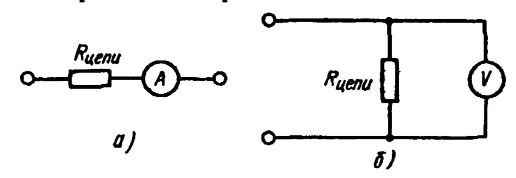


Рис. 54. Схемы включения приборов: *а*— амперметра; к задаче 570; *б*—вольтметра, к задаче 583

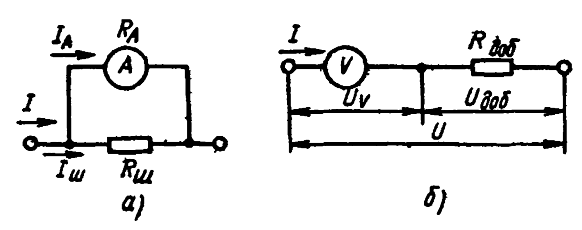


Рис. 55. Схемы включения для расширения пределов измерения приборов; *а*—амперметра; к задаче 603; *б*—вольтметра; к задаче 610

Сопротивление добавочного резистора (рис. 55,*б*) для расширения пределов измерения по напряжению находят по формуле

$$R_{доб}=R_V(k_{п}-1), \qquad (98)$$

где R_V — внутреннее сопротивление вольтметра; $k_{п}=U/U_{н}$ — коэффициент расширения пределов измерения; U — измеряемое напряжение; $U_{н}$ — номинальное напряжение прибора.

Для расширения пределов измерения в цепях переменного тока применяют измерительные трансформаторы тока и наряжения (рис. 56). Относительные погрешности по току и напряженню, обусловленные применением

измерительных трансформаторов, вычисляются следующим образом:

$$\gamma_I = \frac{I_2 k_н - I_2 k_т}{I_2 k_т} \cdot 100\%, \quad \gamma_U = \frac{U_2 k_н - U_2 k_т}{U_2 k_т} \cdot 100\%, \tag{99}$$

где $k_н$ — номинальный коэффициент трансформации, указанный в маркировке трансформатора; $k_т$ — действительный коэффициент трансформации.

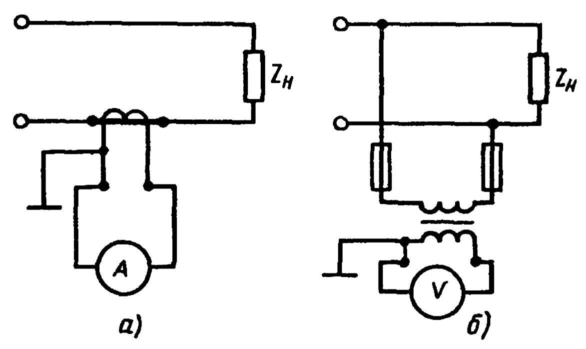


Рис 56 Измерительные трансформаторы; *а*—тока; *б*—напряжения

Действительный коэффициент трансформации для трансформаторов тока и напряжения находят так:

$$k_т = k_I = I_1/I_2; \quad k_т = k_U = U_1/U_2, \tag{100}$$

где I_1, I_2, U_1, U_2 — действительные первичные и вторичные токи и напряжения.

К трансформатору может быть подключено такое число приборов, чтобы их мощность при номинальном напряжении не превышала номинальной мощности трансформатора.

ЗАДАЧИ

570. Для измерения тока в цепи с резистором, сопротивление которого 10 Ом, включен амперметр с внутренним сопротивлением 0,1 Ом (см. рис. 54,*а*). Определить относительное изменение тока, вызванное включением амперметра. Напряжение на выводах цепи поддерживается постоянным.

571. Амперметр, включенный последовательно в цепь постоянного тока и имеющий внутреннее сопротивление 0,5 Ом, показывает 2 А. Чему равно сопротивление цепи, если к ней приложено напряжение 220 В?

572. Два магнитоэлектрических амперметра с различными внутренними сопротивлениями включены последовательно в общую цепь. Объяснить, будут ли отличаться их показания.

573. Определить показания миллиамперметра с внутренним сопротивлением 500 Ом в цепи, состоящей из последовательно соединенных резистора сопротивлением 17,5 кОм и конденсатора емкостью 0,5 мкФ, если цепь подключена к промышленной сети напряжением 220 В. Найти абсолютную и относительную погрешности измерения, вносимые внутренним сопротивлением прибора.

574. В цепи, состоящей из параллельно соединенных четырех резисторов $R_1=10$ Ом; $R_2=5$ Ом; $R_3=8$ Ом и $R_4=20$ Ом, был измерен ток первого резистора $I_1=11$ А. Определить токи каждой ветви и общий ток.

575. Амперметр установлен в неразветвленной части цепи (см. рис. 19,*а*), причем сопротивления резисторов $R_1=2$ Ом; $R_2=R_3=4$ Ом; $R_4=8$ Ом. Эдс источника питания цепи 10 В, а его внутреннее сопротивление 0,5 Ом. Определить внутреннее сопротивление амперметра, если вносимая им относительная погрешность измерения не превышает 1%. Найти показание амперметра.

576. С какими внутренними сопротивлениями должны быть выбраны амперметры в цепи (см. рис. 40,*б*), чтобы относительные погрешности, вносимые их внутренними сопротивлениями, не превышали 1%. Цепь подключена к промышленной сети переменного напряжения 220 В и имеет следующие параметры: $R=1$ кОм; $L=25$ мГн; $C=5$ мкФ. Найти показания амперметров.

577. Вычислить относительную погрешность при определении постоянного тока во второй параллельной ветви, если токи в первой параллельной ветви $I_1=2$ А и в неразветвленной части цепи $I=5$ А измерены с абсолютными погрешностями $\Delta I_1=0{,}02$ А и $\Delta I=0{,}05$ А.

578. Выражения для мгновенных значений токов в двух параллельных ветвях цепи однофазного переменного тока (А) имеют вид: а) $i_1=0{,}141\sin 314t$, $i_2=0{,}282\sin 314t$; б) $i_1=0{,}423\sin 314t$; $i_2=0{,}564\sin(314t-90°)$. Что покажет электромагнитный амперметр в обоих случаях, если он включен в неразветвленную часть цепи?

579. Цифровой амперметр имеет следующие поддиапазоны измерения: 10 и 100 мА, 1 и 10 А. Определить,

с какой относительной погрешностью могут быть измерены токи 5 и 40 мА; 0,3 и 4 А, если постоянные коэффициенты *C* и *B* для всех поддиапазонов равны соответственно 0,01 и 0,0025.

580. Цифровой амперметр имеет восемь поддиапазонов измерения, причем предел измерения каждого последующего поддиапазона в 10 раз больше предыдущего, а предел измерения первого поддиапазона 10 мкА. Определить максимальный ток, который можно измерять с помощью этого амперметра На каких поддиапазонах следует измерять токи 50 мА, 2 и 15 А?

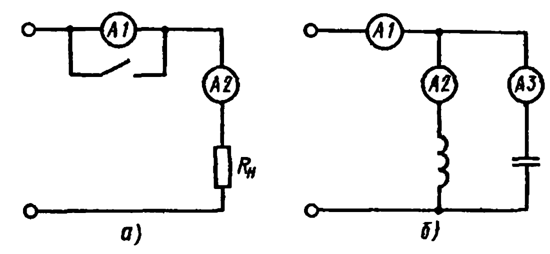


Рис. 57. *а*—к задаче 581, *б*—к задаче 582

581. В цепь переменного тока включены последовательно два амперметра с номинальными токами 1 и 10 А (рис. 57,*а*). Какой максимальный ток можно измерить в цепи? В каких случаях может применяться указанная схема включения?

582. В цепи, изображенной на рис. 57,*б*, реактивные сопротивления конденсатора и катушки равны по абсолютному значению. Какие показания будут давать амперметры *A*1, *A*2, *A*3?

583. Ток в цепи с резистором, сопротивление которого 100 Ом, равен 2,2 А. Определить относительное изменение тока цепи, вызванное включением вольтметра (см. рис. 54,*б*) с внутренним сопротивлением 10 кОм. Напряжение цепи поддерживается постоянным.

584. Определить напряжение цепи (рис. 58,*а*), если вольтметр показал напряжение 180 В, а сопротивление $R_1 = 0{,}8$ кОм. Сопротивление делителя напряжения $R = 2{,}4$ кОм, а внутреннее сопротивление вольтметра $R_V = 20$ кОм.

585. Для измерения напряжения на катушке реле сопротивлением $R_к = 100$ Ом, включенной последовательно с добавочным резистором сопротивлением $R_{доб} = 400$ Ом,

был использован вольтметр с $R_V = 10$ кОм (рис. 58,б). Определить относительную погрешность измерения, вносимую внутренним сопротивлением вольтметра.

586. Определить показание вольтметра с внутренним сопротивлением 5 кОм, включенного параллельно цепи, состоящей из параллельно соединенных резистора сопротивлением 2 кОм и конденсатора емкостью 5 мкФ, если общий ток цепи 10 мА, частота тока 50 Гц. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения, вносимые внутренним сопротивлением вольтметра.

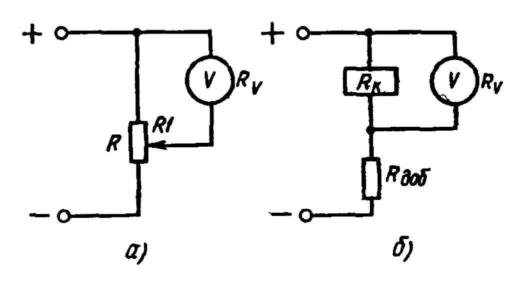


Рис 58. *а*—к задаче 584; *б*—к задаче 585

587. В цепи, состоящей из последовательно соединенных четырех резисторов $R_1 = 40$ Ом; $R_2 = 50$ Ом; $R_3 = 80$ Ом и $R_4 = 20$ Ом, измерено напряжение на третьем резисторе $U_3 = 10$ В. Чему равно напряжение каждого резистора и всей цепи?

588. Сопротивления резисторов в цепи (см. рис. 19,б) соответственно равны: $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = R_3 = 4$ Ом; $R_4 = 8$ Ом. Найти внутреннее сопротивление вольтметра, с помощью которого можно измерить напряжение между узлами *1* и *2*, если цепь подключена к источнику с эдс $E = 30$ В и внутренним сопротивлением $R_{вн} \approx 0$. Относительная погрешность, вносимая внутренним сопротивлением вольтметра, не должна превышать 1%. Определить показание вольтметра.

589. С какими внутренними сопротивлениями должны быть выбраны вольтметры для измерения напряжений с относительной погрешностью не более 1% на катушках индуктивности и конденсаторе в цепи на рис. 40,*в*? Цепь подключена к промышленной сети переменного напряжения 220 В и имеет следующие параметры: $R_1 = R_2 = R_3 = 50$ Ом; $L_1 = L_2 = 0{,}1$ Гн; $C = 50$ мкФ. Определить показания вольтметров.

590. Для расширения пределов измерения электростатического вольтметра последовательно с ним подключают конденсатор (рис. 59,*а*). Определить емкость этого конденсатора (т. е. добавочную емкость), если вольтметром с номинальным напряжением 2 кВ необходимо измерить напряжение $U = 30$ кВ. Емкость вольтметра 40 пФ.

591. К электростатическому вольтметру, емкость которого 200 пФ, последовательно подсоединили конденсатор емкостью 40 пФ. Какое максимальное напряжение можно измерять вольтметром теперь, если шкала его имеет 100 делений, а цена одного деления равна 0,5 В/дел?

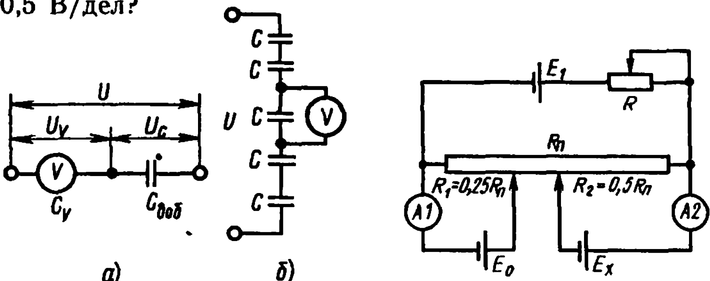


Рис. 59. *а* — к задаче 590; *б* — к задаче 592

Рис. 60. К задаче 593

592. К электростатическому вольтметру с верхним пределом измерения 150 В и емкостью 3 пФ подключен емкостный делитель напряжения (рис. 59,*б*), который состоит из пяти одинаковых конденсаторов емкостью 5 пФ каждый. Каково будет напряжение в цепи, если вольтметр показал 110 В?

593. На рис. 60 изображена схема компенсационного метода измерения эдс E_x. Определить эдс E_x, если показания нуль-индикаторов *A*1 и *A*2 были равны нулю при положениях движков, указанных на рисунке, а образцовая эдс $E_0 = 1{,}2$ В.

594. Для измерения сверхвысоких напряжений используется электростатический искровой вольтметр, в котором напряжение подводится к двум металлическим шарам. По расстоянию между шарами, при котором возникает искра, определяют напряжение, причем это напряжение прямо пропорционально квадрату расстояния между шарами. На каком расстоянии возникает искра при напряжении 10, 50, 100 кВ, если при напряжении 20 кВ искра возникает на расстоянии 5 мм?

595. Рамка магнитоэлектрического вольтметра имеет 200 витков площадь ее поперечного сечения $5 \cdot 10^{-4} м^2$ Определить угловое перемещение рамки, если индукция в воздушном зазоре 0,1 Тл, измеряемое напряжение 100 В, а жесткость пружины $2 \cdot 10^{-6}$ Н·м/град. Внутреннее сопротивление вольтметра $R_V = 10$ кОм.

596. Цифровой вольтметр имеет следующие поддиапазоны измерения: 100 мВ, 1, 10 и 100 В С какой относительной погрешностью могут быть измерены напряжения 70 мВ; 0,6, 3 и 75 В, если постоянные коэффициенты *B* и *C* для всех поддиапаванов равны соответственно 0,006 и 0,0025?

597. Четырехпредельный вольтметр имеет пределы измерения, изменяющиеся по закону геометрической

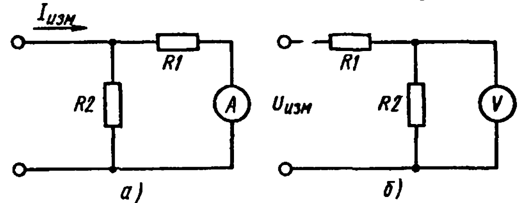


Рис 61 К задаче 599

прогрессии со знаменателем 2. Какое максимальное напряжение можно с его помощью определить, если наименьший предел измерения 75 В? На каких диапазонах можно измерять напряжения 40, 150 и 400 В?

598. Каков рекомендуемый порядок измерения постоянного напряжения магнитоэлектрическим трехпредельным вольтметром, если неизвестна полярность источника?

599. Образцовые резисторы *R*1 и *R*2 (рис. 61) позволяют расширить пределы измерения амперметра и вольтметра. Цепь на рис. 61,*а* используется для измерения тока 8 А, цепь на рис. 61,*б* — для измерения напряжения 400 В. Внутренние сопротивления приборов равны: $R_A = 0,5$ Ом и $R_V = 10$ кОм. Определить показания приборов в обоих случаях, если сопротивление резистора $R_1 = 350$ Ом, а $R_2 = 50$ Ом.

600. Амперметр, включенный последовательно с резистором сопротивлением 50 Ом, показал ток 0,5 А. Подключенный к этому же резистору вольтметр показал напряжение 24,5 В. Найти внутреннее сопротивление вольтметра, если погрешностями измерительных приборов можно пренебречь.

601. Амперметр с внутренним сопротивлением 1 Ом подключен к выводам батареи и показывает 3 А. Вольтметр с внутренним сопротивлением 10 кОм подключен к выводам той же батареи и показывает 8 В. Определить напряжение холостого хода и ток короткого замыкания батареи.

602. Номинальный ток амперметра 1 А, сопротивление его 0,08 Ом. Какой ток проходит в цепи, если амперметр с шунтом, сопротивление которого 0,03 Ом, показывает ток 0,9 А.

603. Номинальный ток амперметра (см. рис. 55,*а*) $I_A=1$ А и сопротивление шунта $R_ш=0{,}5$ Ом. Определить сопротивление прибора, если номинальный ток амперметра был при токе в цепи 5 А.

604. Амперметром с внутренним сопротивлением R_A следует измерить ток в 10, 100, 1000 раз больше его номинального значения. Найти соотношения между сопротивлениями амперметра и шунтов, подобранных для выполнения указанных измерений.

605. Амперметр, имеющий внутреннее сопротивление 0,02 Ом и верхний предел измерения 10 А, необходимо использовать для измерения токов до 100 А. Определить сопротивление шунта прибора и падение напряжения на амперметре и шунте.

606. В каком температурном диапазоне можно применять амперметр с манганиновым шунтом номинальным сопротивлением 0,01 Ом, если допустимое отклонение сопротивления шунта, вызванное температурой среды, составляет $\pm 0{,}05\%$?

607. Шунт для увеличения предела измерения амперметра с 1 до 100 А выполнен из четырех включаемых параллельно манганиновых пластинок сечением 3 мм$\times$$\times$1 мм. Рассчитать необходимую длину пластинок и найти температурную погрешность сопротивления шунта при температуре 333 К, если внутреннее сопротивление амперметра в нормальных условиях 0,1 Ом.

608. Номинальное напряжение вольтметра 10 В, внутреннее сопротивление его 5 кОм. Какое допустимое напряжение может быть в измеряемой цепи, если к вольтметру подключен добавочный резистор, сопротивление которого 15 кОм?

609. Вольтметром с внутренним сопротивлением R_V требуется измерить напряжение в 10, 100 и 1000 раз больше его номинального значения. Найти соотношения между внутренним сопротивлением вольтметра и сопротив-

лениями добавочных резисторов, подобранных для выполнения указанных условий.

610. Вольтметр рассчитан для измерения напряжений до 15 В. Определить сопротивление добавочного резистора, который необходим для измерения этим прибором напряжения 225 В, если внутреннее сопротивление вольтметра $R_V = 50$ кОм (см. рис. 55,*б*). Каковы будут при этом потери мощности в обмотке вольтметра и в добавочном резисторе?

611. Добавочный резистор для увеличения предела измерения вольтметра с 10 до 100 В выполнен в виде катушки из манганиновой проволки ⌀0,05 мм. Определить необходимую длину проволоки и мощность, выделяемую в добавочном резисторе, если внутреннее сопротивление вольтметра 10 кОм.

612. В современной измерительной технике шунты и добавочные резисторы для расширения пределов измерения амперметров и вольтметров изготовляют, как правило, из манганина. Пояснить, какими физическими свойствами манганина это обусловлено.

613. Какие неисправности могут привести к отсутствию показаний магнитоэлектрических и электродинамических измерительных приборов при их включении в измеряемую цепь?

614. Найти ток и напряжение в первичных цепях трансформатора тока 500/5 и трансформатора напряжения 3 000/10, если показания амперметра и вольтметра, подключенных к вторичным цепям трансформатора, соответственно равны 2 А и 10 В.

615. К трансформатору тока 400/5 присоединен амперметр. Определить его показания при токе в первичной цепи, равном: а) номинальному току трансформатора; б) 300 А; в) 100 А. Какова относительная погрешность измерения, если действительный коэффициент трансформации 75?

616. К трансформатору напряжения 10 000/100 присоединен вольтметр. Определить его показания при напряжении в первичной цепи, равном: а) номинальному напряжению трансформатора; б) 5 кВ; в) 300 В. Какова относительная погрешность измерения, если действительный коэффициент трансформации 95?

617. Какое максимальное количество измерительных приборов можно подключать к измерительному трансформатору с номинальной мощностью 9 Вт, если каждый прибор потребляет мощность 1,2 Вт?

§ 19. Измерение сопротивлений

Для измерения сопротивлений используют омметры (мегаомметры), которые обычно представляют собой магнитоэлектрические приборы, выполненные по схеме логометра (рис. 62).

Измерение сопротивлений может осуществляться методом амперметра и вольтметра. В зависимости от последовательности включения приборов (рис 63,*а*,*б*) искомое сопротивление R_x определяется соответственно из следующих соотношений:

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A; \; R_x = UR_V/(IR_V - U), \qquad (101)$$

где U — показание вольтметра; I — показание амперметра; R_V — внутреннее сопротивление вольтметра; R_A внутреннее сопротивление амперметра.

Одним из наиболее точных методов является измерение

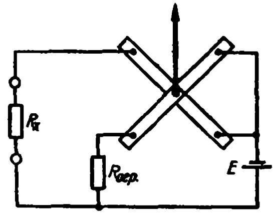


Рис. 62. Схемы омметра—логометра; к задачам 621, 622

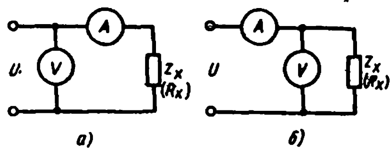


Рис. 63. Схема измерения сопротивления методом амперметра и вольтметра: *а*—к задачам 624, 626, 627, 628, 629, 630, 650, 686, 689; *б*—к задачам 625, 626, 627, 628. 629, 631, 650, 690

сопротивлений с помощью одинарного моста (рис. 64). При равновесии моста, т. е. нулевом показании измерительного прибора в его диагонали, искомое сопротивление находится из соотношения

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_4}. \qquad (102)$$

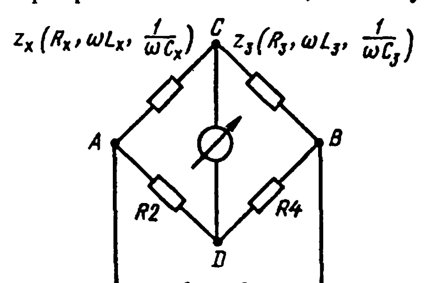


Рис. 64. Схема измерения сопротивления одинарным мостом; к задачам 633, 634, 635, 637, 638, 693, 694, 695, 696

Сопротивление может измеряться с помощью вольтметра (рис. 65,*а*) или с помощью амперметра (рис. 65, *б*).

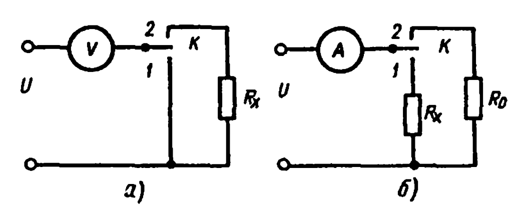


Рис. 65. Схема измерения сопротивлений поочередным включением приборов: *а*—вольтметра; к задаче 640; *б*—амперметра; к задаче 641

При включении вольтметра сначала непосредственно в сеть, а затем последовательно с элементом, сопротивление которого R_x измеряется, имеем

$$R_x = R_V \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right), \qquad (103)$$

де U_1 — показание вольтметра при подключении его непосредственно к сети; U_2 — показание вольтметра при подключении его к сети последовательно с элементом, сопротивление которого R_x измеряется.

При включении амперметра сначала в сеть последовательно с элементом, сопротивление которого R_0 известно, а затем последовательно с элементом, сопротивление которого R_x измеряется, получаем

$$R_x = \frac{I_0}{I_1}(R_0 + R_A) - R_A, \qquad (104)$$

где I_1 — показание амперметра при включении элемента с искомым сопротивлением R_x; I_0 — показание амперметра при включении элемента с известным сопротивлением R_0.

ЗАДАЧИ

618. При измерении сопротивления изоляции катушки на корпус стрелка мегаомметра остановилась на делении 40 МОм, что составляет 0,4 длины рабочей части шкалы. Определить наибольшую возможную абсолютную погрешность измерения сопротивления, если класс точности прибора 1,0.

619. Найти относительную погрешность измерения сопротивления γ_R цепи, состоящей из двух последовательно соединенных резисторов сопротивлениями 15 и 10 кОм, которые были измерены с абсолютными погрешностями $\Delta R_1 = 100$ Ом и $\Delta R_2 = 80$ Ом.

620. Цифровой омметр имеет следующие поддиапазоны измерения: 10 и 100 Ом, 1 и 100 кОм, 1 МОм Определить, с какой относительной погрешностью могут быть измерены сопротивления 5, 70 и 300 Ом; 1 и 400 кОм, если постоянные коэффициенты C и B для всех поддиапазонов равны соответственно 0,003 и 0,001.

621. Сопротивление прибора измеряется с помощью омметра, эдс которого $E=1{,}5$ В (см. рис. 62). Какое внутреннее сопротивление должен иметь омметр, если ток в приборе, сопротивление которого измеряется, не должен превышать 1 мА?

622. Какое сопротивление должен иметь ограничительный резистор, подключенный последовательно к источнику с эдс $E=1{,}5$ В (см. рис. 62), чтобы при измерении малых сопротивлений в пределах 1 Ом (или при замыкании щупов прибора) ток не превышал 10 мА?

623. Сопротивление резистора, измеренное методом амперметра и вольтметра, равно 501 Ом. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения, если действительное значение сопротивления резистора $R_д=500$ Ом.

624. При измерении сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра (см. рис. 63,*а*) показания приборов были соответственно 2 А и 50 В. Определить сопротивление резистора, если внутреннее сопротивление амперметра $R_A=0{,}5$ Ом, а погрешностями приборов можно пренебречь.

625. При измерении сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра (см. рис. 63,*б*) показания приборов были соответственно 11 мА и 10 В. Определить сопротивление резистора, если внутреннее сопротивление вольтметра $R_V=10$ кОм, а внутреннее сопротивление амперметра $R_A\approx 0$. Погрешностями приборов пренебречь.

626. При измерении сопротивления якоря двигателя переменного тока методом амперметра и вольтметра (схемы см. на рис. 63,*а,б*) приборы показали соответственно 10 А и 30 В. Амперметр имеет внутреннее сопротивление $R_A=0{,}02$ Ом, внутреннее сопротивление вольтметра $R_V=9$ кОм. Определить дополнительную относительную погрешность, вносимую внутренними сопротивлениями приборов в обоих случаях.

627. Какими должны быть соотношения между значениями сопротивления резистора, измеренного в цепях, схемы которых изображены на рис. 63,*а,б*, и внутрен-

ними сопротивлениями приборов, чтобы погрешности измерений были минимальными?

628. Сопротивление резистора, приближенно равное 55 Ом, измеряется методом амперметра и вольтметра (см. рис. 63,*а,б*). Определить внутренние сопротивления приборов в обоих случаях, если ошибка, обусловливаемая самим методом, составляет 0,25%.

629. Определить сопротивление резистора (см. рис. 63,*а,б*), зная, что амперметр показал 2 А, а вольтметр — 120 В, если внутреннее сопротивление амперметра 0,2 Ом, а вольтметра 15 кОм. Погрешностями приборов пренебречь.

630. При измерении сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра (см. рис. 63,*а*) применялся амперметр с внутренним сопротивлением $R_A = 10$ Ом. Найти сопротивление резистора и абсолютную погрешность его определения, если ток измерен с относительной погрешностью 1%, а напряжение — 2%. Показания приборов 10 мА и 1 В.

631. При измерении сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра (см. рис. 63,*б*) применялся вольтметр с внутренним сопротивлением $R_V = 10$ кОм. Найти сопротивление резистора и абсолютную погрешность его определения, если ток измерен с относительной погрешностью 3%, а напряжение — 5%. Показания приборов 10 мА и 1 В.

632. При измерении сопротивления нелинейного элемента методом амперметра и вольтметра напряжение на нем было 6 В, а ток 2 мА. При изменении напряжения на 0,5 В ток изменился на 0,05 мА. Найти статическое и дифференциальное сопротивления элемента.

633. Ток в диагонали одинарного моста постоянного тока равен нулю (см. рис. 64). Сопротивления плеч соответственно равны: $R_2 = 10$ Ом; $R_3 = 20$ Ом; $R_4 = 5$ Ом. Определить сопротивление R_x.

634. Сопротивления плеч одинарного моста постоянного тока (рис. 64) $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 10$ Ом; $R_4 = 30$ Ом; $R_x = 10$ Ом. Чему равно напряжение U_{CD}, если напряжение питания $U_{AB} = 12$ В? Проводимостью диагонали *CD* моста пренебречь.

635. Микроамперметр, включенный в диагональ измерительного моста (см. рис. 64), показывает 20 мкА. Определить сопротивление R_x, если сопротивления плеч моста $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 40$ Ом; $R_4 = 80$ Ом, напряжение

питания $U_{AB}=20$ В, а сопротивление диагонали CD моста составляет 150 кОм.

636. Для точного измерения сопротивления используется измерительный мост, схема которого приведена на рис. 66. Определить R_x, если сопротивления плеч моста $R_1=100$ Ом; $R_2=50$ Ом, $R_4=180$ Ом, а сопротивление переменного резистора $R=200$ Ом. Равновесие моста, т. е. $U_{вых}=0$, наступает при положении подвижного контакта посередине переменного резистора.

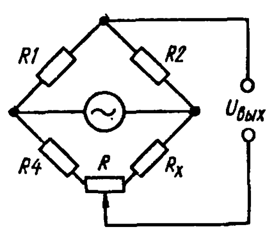


Рис 66. К задаче 636

637 При измерении сопротивления R_x с помощью одинарного моста (см рис. 64) в смежное плечо моста включен резистор сопротивлением $R_3=1$ кОм, а в два других плеча поставлены два переменных резистора, сопротивления которых меняются от 0,5 до 2 кОм. В каком диапазоне могут быть измерены сопротивления в этом случае?

638. При измерении сопротивления с помощью одинарного моста (см. рис. 64) в противоположное плечо был включен резистор сопротивлением $R_4=5$ кОм $\pm$ $\pm 2\%$, а в одно из смежных плеч — резистор сопротивлением $R_3=15$ кОм $\pm 3\%$. Определить сопротивление R_x и абсолютную погрешность его измерения, если равновесие моста достигалось при сопротивлении резистора $R_2=45$ кОм.

639. Зависит ли точность измерений с помощью одинарного моста от непостоянства эдс источника питания?

640. Определить сопротивлени R_x (см рис 65,*а*), если при включении вольтметра с внутренним сопротивлением $R_V=40$ кОм непосредственно к сети его показание было 127 В, а при включении последовательно с сопротивлением $R_x=120$ В.

641. Сопротивление измеряется при помощи одного амперметра (см. рис. 65,*б*). Когда ключ находился в положении 2, то $I_0=0,5$ *А*, а когда ключ перевели в положение 1, то ток оказался равным $I_1=0,2$ А. Найти R_x, если внутреннее сопротивление прибора $R_A=0,1$ Ом, а $R_0=50$ Ом.

642. Вольтметр с внутренним сопротивлением 10 кОм подключается последовательно сначала к образцовому

резистору сопротивлением 20 кОм, а затем к измеряемому резистору сопротивлением R_x. Найти сопротивление R_x, если показания вольтметра были соответственно равны 80 и 30 В, а напряжение питания одинаково в обоих случаях.

643. Сопротивление изоляции двухпроводной линии измерялось вольтметром с внутренним сопротивлением

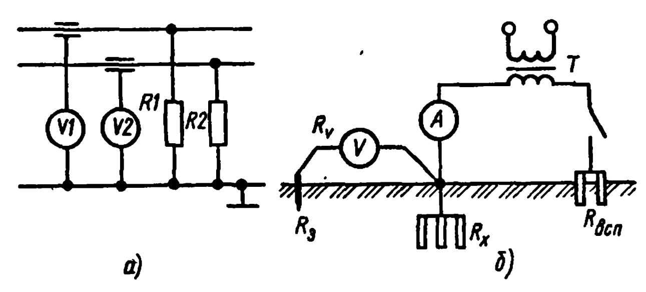


Рис. 67. *а*—к задачам 645, 646; *б*—к задачам 647, 648

50 кОм. Напряжения между проводами и землей оказались соответственно 10 и 20 В. Рассчитать сопротивление изоляции на землю, если линия работает под напряжением 220 В.

644. Для испытания изоляции антенны один вывод батареи с напряжением 120 В соединили с корпусом антенны, а другой вывод — через миллиамперметр с землей. Каково сопротивление изоляции, если прибор показал 0,01 мА?

645. Включенные по схеме (рис. 67,*а*) элементы служат для обеспечения контроля за состоянием изоляции проводов сети постоянного или однофазного переменного тока (R — сопротивление изоляции). Каковы будут показания одинаковых вольтметров при неповрежденной и поврежденной изоляции?

646. На какое напряжение надо выбрать вольтметры (рис. 67,*а*), если напряжение между проводами 500 В?

647. При измерении сопротивления заземляющего устройства R_x (рис. 67,*б*) используется вольтметр, внутреннее сопротивление которого по меньшей мере в сто раз больше сопротивления зонда, т. е. $R_V \geqslant 100R_з$. Почему необходимо выполнить такое условие и какой системы вольтметр может быть применен?

648. Как зависит сопротивление зонда $R_з$ (рис. 67,*б*) от глубины погружения и влажности грунта?

649. Можно ли при измерении сопротивлений жидких проводников или проводников, обладающих высокой влажностью (сопротивлений заземлений), пользоваться постоянным током?

§ 20. Измерение мощности и энергии

В цепях постоянного тока мощность измеряется либо методом амперметра и вольтметра (см. рис 63), либо с помощью электродинамического ваттметра, включенного как показано на рис. 68,*а*,*б*. Показания ваттметра соответственно равны:

$$P=UI+U_AI;\ P=UI+UI_V, \qquad (105)$$

где UI — действительное значение потребляемой мощности; U_A — напряжение в последовательной цепи ваттметра; I_V — ток, проходящий в параллельной цепи ваттметра.

Активная мощность в цепях однофазного переменного тока измеряется при помощи электродинамического или ферродинамического ваттметра (рис. 68,*а*,*б*).

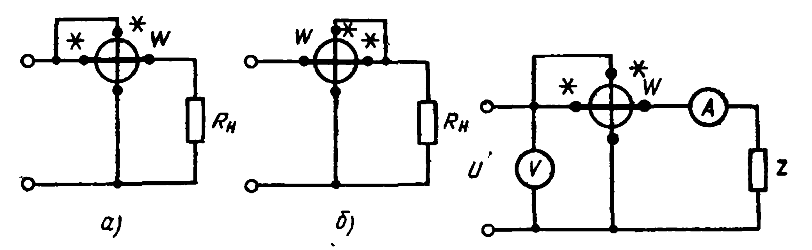


Рис. 68. Схема измерения мощности с помощью электродинамического ваттметра; *а* — к задаче 655; *б* — к задаче 656

Рис. 69. Схема измерения по методу амперметра, вольтметра и ваттметра; к задачам 663, 664, 700, 701, 703

Реактивная мощность в цепях однофазного переменного тока обычно измеряется с помощью ваттметра, в котором соответствующее включение параллельной цепи приводит к сдвигу фаз между напряжением и током на угол 90°. Ваттметр с указанным включением обмоток называется варметром. Варметр включают по тем же правилам, что и ваттметр.

При помощи амперметра, вольтметра и ваттметра (рис. 69) можно определить полную, активную и реактивную мощности цепи, а также коэффициент мощности:

$$S=UI;\ Q=\sqrt{U^2I^2-P^2};\ \cos\varphi=P/(UI). \qquad (106)$$

где P, U и I показания ваттметра, вольтметра и амперметра.

Активная мощность в четырехпроводной трехфазной цепи переменного тока с доступной нулевой точкой определяется с помощью ваттметра (рис. 70,*а*).

Активная мощность в четырехпроводной трехфазной цепи переменного тока с недоступной нулевой точкой, а также в трехпроводной трехфазной цепи определяется с помощью искусственной нулевой точки (рис. 70,*б*).

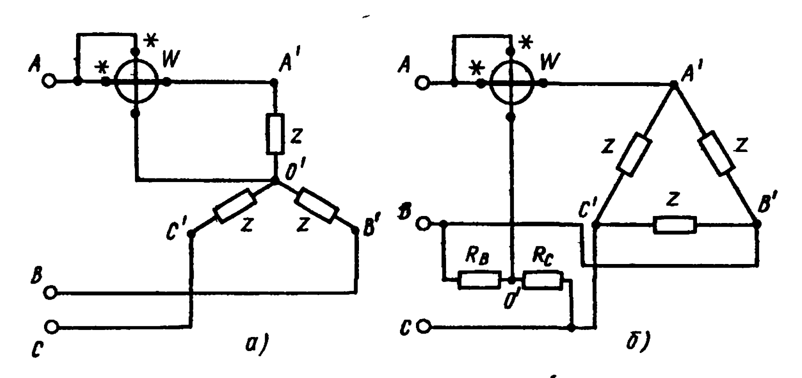


Рис. 70. Схема измерения активной мощности в трехфазной цепи при симметричной нагрузке фаз потребителя; *а*—с доступной нулевой точкой; к задаче 666; *б*—с искусственной нулевой точкой; к задаче 667

Способы измерения мощности (рис. 70) применяют в трехфазной цепи при симметричной нагрузке фаз потребителя, и суммарная мощность равна утроенным показаниям ваттметров:

$$P = 3P_ф = 3U_ф I_ф \cos\varphi, \tag{107}$$

где $P_ф$ — активная мощность одной фазы; $U_ф$ — фазное напряжение; $I_ф$ — фазный ток; φ — угол сдвига фаз между фазным напряжением и током.

Суммарная активная мощность трехфазной цепи в случае несимметричной нагрузки фаз потребителя определяется по схеме включения (рис. 71,*а*):

$$P = P_1 + P_2, \tag{108}$$

где P_1 и P_2 — показания ваттметров.

Реактивная мощность в трехфазной цепи переменного тока при симметричной нагрузке фаз потребителя находится с помощью ваттметра (рис. 71,*б*):

$$Q = \sqrt{3}\ P, \qquad (109)$$

где P — показания ваттметра.

Реактивная мощность в трехфазной цепи переменного тока при несимметричной нагрузке так же, как и активная мощность, определяется по схеме включения (рис. 71,*а*):

$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2), \qquad (110)$$

где P_1 и P_2 — показания ваттметров.

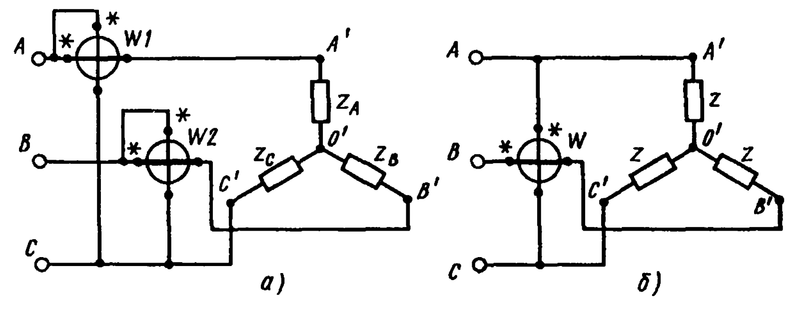


Рис. 71. Схема измерения мощности в трехфазной цепи; *а*—активной и реактивной при нессиметричной нагрузке фаз потребителя; к задаче 668; *б*—реактивной при симметричной нагрузке фаз потребителя; к задаче 669

Для расширения диапазонов измерения ваттметров применяют измерительные трансформаторы тока и напряжения. При этом искомая мощность первичной цепи определяется из соотношения

$$P_1 = k_{\text{н}\,I} k_{\text{н}\,U} P, \qquad (111)$$

где P — показания ваттметра; $k_{\text{н}\,I}$ и $k_{\text{н}\,U}$ — номинальные коэффициенты трансформации по току и напряжению.

Энергия в цепях переменного тока измеряется с помощью индукционных электрических счетчиков. Относительную погрешность измерения счетчика вычисляют по формуле

$$\gamma = \frac{c_{\text{н}} - c}{c} \cdot 100\%, \qquad (112)$$

где c — действительная постоянная счетчика; $c_{\text{н}}$ — номинальная постоянная счетчика. Действительную и номинальную постоянные (Вт·с/об) счетчика рассчитывают по следующим формулам:

$$c = Pt/n_{\text{сч}};\ c_{\text{н}} = W/n_{\text{сч}}, \qquad (113)$$

где $n_{сч}$ — число оборотов, которое сделал диск счетчика за время испытания или работы; P — мощность, потребляемая электрической цепью; t — время испытания или работы; W — энергия, регистрируемая счетчиком за определенное число оборотов.

Шкалы счетчиков обычно градуируются в киловатт-часах (кВт·ч).

ЗАДАЧИ

650. Найти мощность, потребляемую цепью постоянного тока, если показания амперметра и вольтметра (см. рис. 63,*а,б*) 3,5 А и 28 В.

651. В цепи постоянного тока мощность измерялась по показаниям амперметра 10 А$\pm$1% и вольтметра 100 В$\pm$2%. Определить мощность и относительную погрешность ее определения.

652. Мощность в цепи постоянного тока измеряется методом амперметра и вольтметра, причем показания приборов соответственно равны 9 А и 127 В. В каком диапазоне находится действительное значение мощности, если при измерении напряжения возможна погрешность $\pm$3 В, а при измерении тока $\pm$0,5 А?

653. Включить в цепи на рис. 14,*а,б* ваттметр таким образом, чтобы он измерял мощность; а) резистора $R1$; б) резисторов $R2$ и $R3$; в) полную мощность цепей.

654. Ваттметр со шкалой на 50 делений имеет переключатель токовой обмотки на 2,5 и 5 А. Определить цену деления и чувствительность при обоих положениях переключателя и напряжениях последовательной цепи ваттметра 50; 100; 200 В.

655. Для измерения мощности потребителя постоянного тока с номинальным напряжением 200 В использовался электродинамический ваттметр (см. рис. 68,*а*) со следующими параметрами: $U_н$=200 В; $I_н$=5 А; сопротивление последовательной обмотки 0,2 Ом. Определить мощность потребителя и относительную погрешность измерения.

656. Для измерения мощности потребителя постоянного тока с номинальным напряжением 220 В использовался электродинамический ваттметр (см. рис. 68,*б*) со следующими параметрами: $U_н$=220 В; $I_н$=5 А; ток в параллельной цепи ваттметра I_V=50 мА. Определить мощность потребителя и относительную погрешность измерения.

657. Электродинамический ваттметр имеет два предела измерения по току 1,5 и 7,5 А и три предела по напряжению 75, 150 и 300 В, шкала имеет 150 делений. Определить пределы измерения мощности и цену деления для всех возможных вариантов включения прибора.

658. Ваттметр для измерения мощности в электрической цепи имеет линейную шкалу измерения. Каков ток в приборе при мощности 30 Вт, если при мощности 10 Вт ток 2 мА? Напряжение на приборе считать неизменным.

659. Угол сдвига фаз между током в одной цепи и напряжением в другой равен 1/4 периода. Каким образом это можно проверить, имея ваттметр, если обе цепи электрически независимы друг от друга и частота токов в них одинакова?

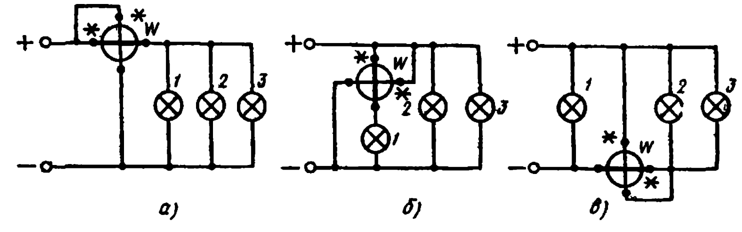


Рис 72 К задаче 660

660. В электрические цепи (рис. 72,*а*,*б*,*в*) включен ваттметр. Мощность каких ламп измеряет ваттметр и как изменятся его показания, если лампу *3* отключить?

661. Включить в цепь, схема которой показана на рис. 41,*б*, ваттметр таким образом, чтобы он измерял мощность: а) в ветви с резистором *R*1; б) в ветви с резистором *R*2 и катушкой индуктивности *L*; в) во всей цепи.

662. Выражения для мгновенных значений тока (А) и напряжения (В) в однофазной цепи имеют вид: $i = 10 \sin(314t + 2/3\pi)$ и $u = 220 \sin 314t$. Определить показания ваттметра и варметра, включенных в эту цепь.

663. Показания приборов (см. рис. 69) равны: 4 А, 80 В и 200 Вт. Найти полную, активную и реактивную мощности цепи, а также коэффициент мощности цепи.

664. Для измерения коэффициента мощности в цепях переменного тока используется схема включения, показанная на рис. 69. Определить коэффициент мощности $\cos\varphi$ и погрешность его нахождения, если показания

приборов соответственно равны: 10 Вт+2%; 2 А+3%, 10 В+1%.

665. При напряжении, токе и коэффициенте мощности в измеряемой цепи, равных соответственно 380 В, 10 А и 0,79, стрелка ваттметра отклонилась на 60 делений. Определить цену деления и чувствительность ваттметра.

666. Фазные токи и напряжения в четырехпроводной трехфазной цепи с симметричной активной нагрузкой соответственно равны 5 А и 127 В. Определить показание ваттметра (см. рис. 70,*а*) и активную мощность, потребляемую нагрузками фаз.

667. Фазные токи и напряжения симметричной активной нагрузки трехфазной сети равны 20 А и 220 В Определить показание ваттметра (см. рис. 70,*б*) и напряжения на резисторах R_B и R_C, если сопротивление параллельной цепи ваттметра составляет 10 кОм

668. Определить показания ваттметров (см. рис. 71,*а*), если выражения для мгновенных значений фазных токов (А) и напряжений (В) имеют вид: $i_{\phi A}=20\sin(314t+\pi/4)$; $u_{\phi AC}=380\sin 314t$; $i_{\phi B}=30\sin(314t-2\pi/3)$; $u_{\phi BC}=380\sin(314t-2\pi/3)$. Чему равна активная мощность трехфазной цепи?

669. Для измерения реактивной мощности в трехфазной цепи при симметричной нагрузке с активными и реактивными сопротивлениями каждой фазы, равными соответственно $R=5$ Ом; $X_L=1$ Ом, используется схема включения, представленная на рис. 71,*б*. Найти показания ваттметра, если линейные напряжения равны 220 В

670. Ваттметры для измерения мощности в трехфазной цепи, устанавливаемые на распределительных щитах, представляют собой три измерительных механизма, связанных общей осью вращения стрелки указателя, что соответствует схеме на рис. 73. Определить

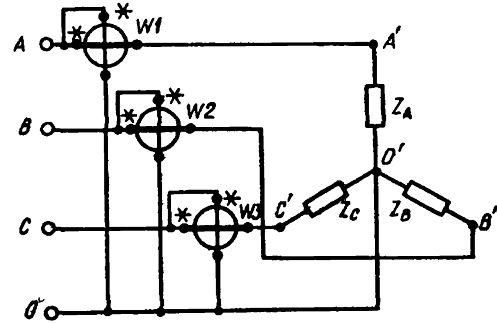


Рис 73. К задаче 670

активную мощность трехфазной цепи, если токи и напряжения в обмотках измерительных механизмов $I_1=I_2=I_3=10$ А; $U_1=U_2=U_3=220$ В, а коэффициенты мощности составляют соответственно 0,6; 0,8; 0,95.

671. Число делений шкалы ваттметра 100. Предел измерения по напряжению расширен с помощью добавочного резистора до 200 В. Какой измеряемой мощности соответствует отклонение стрелки ваттметра на 1 деление, если токовая обмотка включена через трансформатор тока 200/5?

672. Ваттметр включен через измерительные трансформаторы тока 150/5 и напряжения 800/100. Определить мощность, потребляемую цепью нагрузки, если ваттметр показывает 300 Вт.

673. В сети однофазного тока через трансформатор тока 300/5 и трансформатор напряжения 8 000/100 включены амперметр, вольтметр и ваттметр. Начертить схему измерения и определить показания всех приборов, если известно, что ток в цепи 150 А, напряжение 4 000 В и коэффициент мощности 0,7.

674. Номинальная постоянная счетчика $c_н=1300$ Вт×
×с/об. Определить абсолютную и относительную погрешности счетчика, если при его работе в течение 10 с мощность составляла 1,32 кВт, а его диск сделал 10 оборотов. На какую величину надо умножить показания счетчика для получения истинного расхода энергии?

675. Расход энергии, показанный счетчиком, составил 800 кВт·ч. Счетчик имеет относительную погрешность 1,8% в сторону увеличения фактического расхода энергии. Найти действительный расход энергии.

676. Счетчик энергии переменного тока подвергался многократным испытаниям. По истечении пяти равных интервалов времени постоянная счетчика при неизменном напряжении и токе была равна: $c=1950$, 1980, 1990; 1970 и 1985 Дж. Определить среднее значение постоянной счетчика и диапазон ее разброса.

667. Какая энергия будет регистрироваться счетчиком за 20 оборотов, если номинальная постоянная счетчика 1200 Вт·с/об?

678. Мощность электротехнического устройства 2 кВт. Какое время работал счетчик, если он сделал 40 оборотов, а действительная постоянная счетчика 1400 Вт×
×с/об?

679. Диск счетчика делает 188 оборотов за 10 мин. Нагрузкой являются три параллельно включенные лампы

равной мощности. Вычислить мощность каждой лампы, если согласно надписи на счетчике 2500 оборотов его диска соответствуют 1 кВт·ч.

680. Счетчик электрической энергии вращается с частотой 10 об/с. Определить действительную постоянную счетчика, если мощность, потребляемая цепью нагрузки, составляет при этом 100 Вт.

681. Какими причинами может быть вызван самоход индукционного счетчика электрической энергии, т. е. вращение диска при отсутствии тока в измерительной цепи? Каким образом можно устранить это явление?

682. Как отразится на работе индукционного счетчика: а) замена алюминиевого диска медным такого же радиуса и массы; б) увеличение массы алюминиевого диска при том же радиусе; в) замена постоянного магнита более мощным?

683. Составить принципиальную электрическую схему включения счетчика в электрическую сеть переменного тока.

§ 21. Измерение параметров реактивных элементов

Индуктивность и емкость реактивных элементов можно измерять: методом амперметра и вольтметра (см. рис. 63,*а*,*б*)

$$L_x = U/\omega I;\ C_x = I/\omega U, \qquad (114)$$

где U, I — показания приборов;

при помощи одинарного моста (см. рис 64)

$$L_x = L_3 \frac{R_2}{R_4},\ C_x = C_3 \frac{R_4}{R_2}, \qquad (115)$$

где L_3 — индуктивность образцовой катушки; C_3 — емкость образцового конденсатора; R_2 и R_4 — сопротивления регулируемых резисторов.

Следует отметить, что указанные способы измерения применимы, если активными сопротивлениями реактивных элементов можно пренебречь.

Измерение активного реактивного и полного сопротивлений элементов цепей переменного тока осуществляется при помощи амперметра, вольтметра и ваттметра (см рис. 69):

$$R = P/I^2,\ X_L = \sqrt{U^2I^2 - P^2}/I^2;\ X_C = I^2/\sqrt{U^2I^2 - P^2};$$

$$z = U/I, \tag{116}$$

где I, U и P — показания приборов.

Для измерения промышленной и повышенной (до 1 кГц) частот применяют приборы с логометрическим измерительным механизмом, а для измерения более высоких частот используются цифровые частотомеры.

ЗАДАЧИ

684. Определить индуктивность катушки, которая измерялась методом амперметра и вольтметра, если показания приборов были соответственно равны 0,2 А и 30 В. Частота напряжения 400 Гц. Найти относительную погрешность, допущенную при измерении, если активное сопротивление катушки 15 Ом.

685. Катушку подключили к источнику постоянного напряжения, а затем к источнику переменного напряжения с частотой 50 Гц. Амперметр в первом случае показал 15 А, во втором — в 5 раз меньше. Найти индуктивность катушки, если показания вольтметров в обоих случаях были одинаковыми: $U_1 = U_2 = 30$ В.

686. Для измерения индуктивности катушки используется метод амперметра и вольтметра (см. рис. 63, *а*). Показания приборов составили соответственно 1 А$+2\%$ и 10 В$+3\%$. Определить индуктивность катушки и относительную погрешность ее определения, если частота переменного тока 50 Гц.

687. Катушка подключена к источнику переменного напряжения 50 В, частота которого меняется в диапазоне $1 \div 10$ кГц. Вычислить активное сопротивление и индуктивность катушки, если на частотах $f_1 = 3$ кГц и $f_2 = 7$ кГц показания миллиамперметра, включенного последовательно с катушкой, были соответственно равны 100 и 50 мА.

688. Катушка индуктивности с активным сопротивлением 2 Ом подключена к источнику переменного напряжения $3{,}6 \sin 314t$, В. Показание амперметра, включенного последовательно с катушкой, равно 0,1 А. Определить индуктивность и добротность катушки.

689. Конденсатор подключен к источнику переменного напряжения 20 В частотой 50 Гц. Чему равна емкость конденсатора, если амперметр (см. рис. 63, *а*) показывает 0,1 А?

690. Для измерения емкости конденсатора используется метод амперметра и вольтметра (см. рис. 63, *б*). Показания приборов составили соответственно 10 мА$+3\%$ и 150 В$+2\%$. Определить емкость и относительную

погрешность ее определения, если частота переменного тока 50 Гц.

691. Конденсатор подключен к источнику переменного напряжения 40 В, частота которого меняется в диапазоне от 10 до 50 кГц. Вычислить активное сопротивление и емкость конденсатора, если на частотах $f_1=20$ кГц и $f_2=40$ кГц показания амперметра, включенного в цепь с конденсатором, были соответственно равны 30 и 59,5 мА.

692. Конденсатор емкостью 25 мкФ подключен к источнику переменного напряжения $36 \sin 314t$, В. Миллиамперметр, включенный последовательно с конденсатором, показал 0,6 мА. Определить шунтирующее сопротивление, добротность и тангенс угла потерь конденсатора.

693. Рассчитать индуктивность катушки L_x (см. рис. 64), если индуктивность образцовой катушки 40 мГн, а равновесие моста достигается при соотношении $R_2/R_4=2$. Найти абсолютную и относительную погрешности, допущенные при измерении, если активные сопротивления катушек $R_x=R_3=2$ Ом. Питание моста осуществляется источником переменного напряжения частотой 50 Гц.

694. Индуктивность катушки измеряется при помощи одинарного моста (см. рис. 64), причем образцовая катушка имеет индуктивность $L_3=1$ мГн. В каких пределах можно измерить индуктивность в этом случае, если в противоположные плечи моста включены переменные резисторы сопротивлением $0,1 \div 0,5$ кОм?

695. Емкость образцового конденсатора $C_3=5$ мкФ. Пользуясь одинарным мостом (см. рис. 64), определить емкость неизвестного конденсатора C_x при условии, что равновесие моста наступает при $R_2=3,5$ кОм и $R_4=1$ кОм. Изменится ли равновесие моста, если поменять местами C_x с R_4?

696. При измерении емкости с помощью одинарного моста (см. рис. 64) используются переменные резисторы сопротивлением $0,2 \div 2$ кОм и образцовый конденсатор емкостью 1 мкФ. В каком диапазоне можно измерять емкость в этом случае?

697. Емкость конденсатора измерялась при помощи одинарного моста, причем в качестве образцового применили конденсатор емкостью 10 мкФ$\pm 0,1\%$. Определить емкость измеряемого конденсатора и относительную погрешность ее определения, если равновесие моста достигается при соотношении сопротивлений плеч $R_4/R_2=10$.

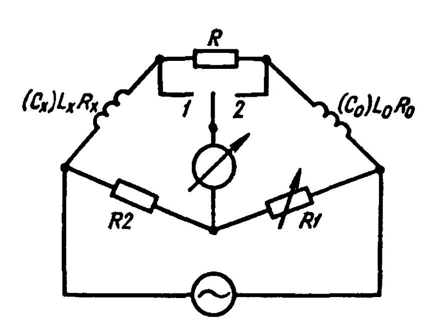


Рис. 74. К задачам 698, 699

698. Равновесие моста (рис. 74) наступает, когда: а) переключатель в положении *1* и $R_1=3{,}5$ кОм; $R_2=2$ кОм; б) переключатель в положении *2* и $R_1=0{,}3$ кОм; $R_2=2$ кОм Вычислить активное сопротивление и индуктивность катушки, если $L_0=50$ мГн; $R_0=5$ Ом; $R=80$ Ом, а частота напряжения 50 Гц.

699. Определить емкость конденсатора, если измерения производятся по схеме включения (рис. 74). Емкость эталонного конденсатора $C_0=1$ мкФ, а равновесие моста наступает, когда: а) переключатель в положении *1* и $R_1=15$ кОм; $R_2=1$ кОм; б) переключатель в положении *2* и $R_1=5$ кОм; $R_2=1$ кОм.

700. Чему равны активное сопротивление и индуктивность катушки, подключенной к сети переменного напряжения частотой 50 Гц (см. рис. 69), если показания амперметра, вольтметра и ваттметра составили соответственно: 0,2 А; 32 В; 5,8 Вт?

701. Определить активное, емкостное и полное сопротивления потребителя энергии, если при измерении (см. рис. 69) показания приборов были соответственно равны: 2 А, 100 и 180 Вт.

702. Для измерения индуктивного и емкостного сопротивлений цепей переменного тока были определены ток, напряжение и активная мощность, причем их значения были соответственно равны 1 А$\pm$10%; 50 В$\pm$10% и 20 Вт$\pm$10%. Каков диапазон возможных значений индуктивности и емкости, если измерения производились в сети переменного тока частотой 50 Гц?

703. При измерении параметров катушки (см. рис. 69) показания приборов составили 10 Вт$\pm$2%; 10 В$\pm$1%; 4,5 А$\pm$3%. Найти полное и активное сопротивления, а также индуктивность катушки, если частота переменного тока 50 Гц. Найти относительную погрешность определения полного сопротивления катушки.

704. Отклонение указателя частотомера с логометрическим измерительным механизмом пропорционально отношению измеряемой и эталонной частоты, которая равна 50 Гц. Определить положение указателя прибора при

частотах 48, 50, 52 Гц, если его шкала длиной 50 мм отградуирована от 44 до 56 Гц.

705. Цифровой частотомер, предназначенный для измерения высоких частот, имеет пять поддиапазонов 1, 10 и 100 кГц; 1 и 10 МГц. Найти относительную погрешность определения частот 5, 25 и 100 кГц; 5 МГц, если постоянные коэффициенты C и B для всех поддиапазонов соответственно равны 0,002 и 0,015.

706. Для какой цели в электрические цепи частотомеров с логометрическим измерительным механизмом включают выпрямители и резонансные контуры?

§ 22. Измерение неэлектрических величин

Неэлектрические величины (температуру, давление, влажность, скорость потока и т. д.) измеряют с помощью первичных преобразователей, в которых измеряемая величина преобразуется в электрический сигнал.

На рис. 75, *а, б, в* изображены три основные схемы включения чувствительного элемента преобразователя: с делителем напряжения, дифференциальная и мостовая

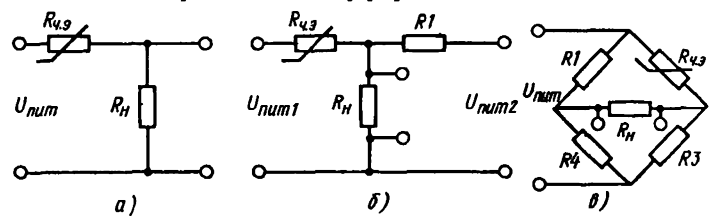


Рис. 75. Схемы включения чувствительного элемента преобразователей: *а*—с делителем напряжения; к задаче 708; *б*—дифференциальная; к задаче 713; *в*—мостовая; к задаче 718

Преобразователи по принципу действия разделяются на генераторные и параметрические. В генераторных преобразователях измеряемая неэлектрическая величина преобразуется в эдс; сюда относятся индукционные, пьезоэлектрические, термоэлектрические, основанные на эффекте Холла, и фотоэлектрические. В параметрических преобразователях под воздействием измеряемой величины изменяется один или несколько параметров электрической цепи, в которую они включены; к ним относятся, например, проволочные, индуктивные и емкостные.

Преобразователи характеризуются статическими характеристиками, которые представляют собой зависимости изменения выходных величин от изменения входных.

Чувствительность преобразователей определяется так:

$$s_п = \Delta y / \Delta x, \qquad (117)$$

где Δy — изменение выходной величины; Δx — изменение входной величины.

ЗАДАЧИ

707. Температурам 278, 283, 288, 293, 298 и 303 К соответствуют следующие сопротивления платиновой нити: 100, 120, 150, 200, 270 и 400 Ом. Построить статическую характеристику и найти сопротивление нити при 290, 296 и 301 К.

708. В качестве чувствительного элемента термопреобразователя с делителем напряжения (рис. 75, *а*) используется медный термометр сопротивления с номинальным сопротивлением 62 Ом при $T = 293$ К. Найти напряжение на выходе преобразователя $R_и = 50$ Ом при температурах $T = 273$, 313, 373 К, если $U_{пит} = 15$ В.

709. Какое количество последовательно включенных термоэлектрических преобразователей необходимо, чтобы ток в цепи индикатора был не менее 10 мА, если эдс каждой термопары 1 В, а внутреннее сопротивление 80 Ом? Сопротивление индикатора 100 Ом.

710. В качестве чувствительного элемента преобразователя высоких температур используется вольфрамовая спираль длиной 0,5 м и $\varnothing$ 0,03 мм, включенная последовательно с микроамперметром с внутренним сопротивлением 800 Ом к источнику с эдс 40 В. Определить показания прибора при температурах 393, 793, 1093 К.

711. Статическая характеристика термопреобразователя определяется уравнением $I = aT/(bT^2 + 1)$, где $a = 0{,}1$ мА/К, $b = 10^{-5}$ 1/К. Вычислить, при каких температурах термопреобразователь имеет максимальные уровень сигнала и чувствительность и определить его ток при этих температурах.

712. В качестве индикатора при изменении температуры с помощью термопары медь — константан используется электронный вольтметр, позволяющий измерять напряжение до 10 мкВ. С какой точностью можно измерять в этом случае температуру, если при изменении температуры на 100 К в термопаре возникает термо-эдс 4,7 мВ?

713. Для измерения влажности использовалась дифференциальная схема измерения (рис. 75, *б*), имеющая следующие параметры: $U_{пит\,1} = U_{пит\,2} = 20$ В; $R_и = R_1 = 500$ Ом. При изменении влажности от 80 до 98% сопротивление чувствительного элемента $R_ч$, линейно менялось

от 400 до 600 Ом. Определить ток в нагрузке при влажности 85, 89, 96%.

714. Поворот стрелки манометра с круглой шкалой на 90° соответствует изменению давления от 10 до 100 кПа. Определить чувствительность прибора в следующих единицах: град/кПа, 1/кПа.

715. Чувствительный элемент пьезоэлектрического преобразователя давления представляет собой пластину шириной 10 мм и длиной 20 мм. Определить эдс, возникающую в результате воздействия силы 10^{-2} Н, если чувствительность преобразователя 0,05 мВ/Па.

716. В качестве чувствительного элемента преобразователя давления используется вольфрамовая нить, нагретая на 500 К выше температуры среды. Коэффициент рассеивания нити $b=10$ мВт/К при давлении $P=10$ кПа, и его значение пропорционально давлению. Найти ток преобразователя при давлениях 1, 2, 5 кПа, если напряжение нити 10 В, а перегрев поддерживается постоянным.

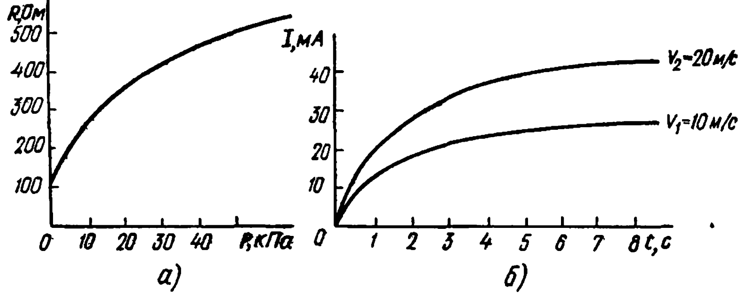


Рис. 76. *а*—к задаче 717; *б*—к задаче 719

717. На рис. 76, *а* представлена статическая характеристика преобразователя давления. Начертить график зависимости чувствительности преобразователя $s_п=f(P)$, если $P=10$, 20, 30, 40, 50 кПа.

718. Для измерения давления используется мостовая схема измерения (см. рис. 75, *в*), имеющая следующие параметры: $R_1=10$ кОм; $R_3=50$ кОм; $R_4=10$ кОм. В качестве чувствительного элемента используется кремниевый тензорезистор, сопротивление $R_{чэ}$ которого меняется от 40 до 60 кОм при изменении давления от 10 до 50 кПа. При каком давлении наступает равновесие моста?

719. На рис. 76, *б* показаны графики нарастания тока в нагрузке преобразователя скорости потока после его включения. Определить необходимую выдержку времени

перед началом измерения скоростей v_1 и v_2 и чувствительность преобразователя.

720. Статическая характеристика преобразователя скорости воздушного потока описывается зависимостью $I=k\sqrt{v}$ в диапазоне скоростей $0 \div 50$ м/с Найти чувствительность преобразователя при скоростях $v=10$, 25 и 40 м/с, если коэффициент $k=5\text{мА}\cdot\text{c}^{1/2}/\text{м}^{1/2}$.

721. Расходомер включает в себя преобразователь скорости и преобразовательное устройство. Записать выражение для статической характеристики расходомера, если чувствительность преобразователя скорости составляет 10 мА·с/м, а коэффициент передачи преобразовательного устройств, равен 10.

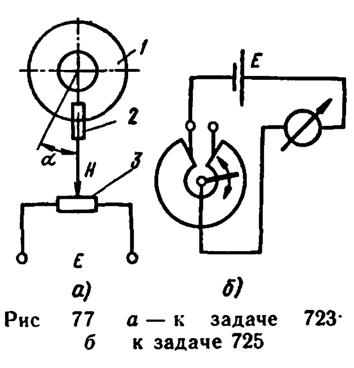


Рис 77 *а* — к задаче 723· *б* к задаче 725

722. Емкостный преобразователь уровня включен параллельно конденсатору резонансного контура, элементы которого имеют следующие параметры· $C=10$ мкФ и $L=0{,}1$ Гн. Контур подключен к сети переменного тока частотой 50 Гц При какой емкости преобразователя в цепи возникает резонанс на указанной частоте?

723. На рис. 77, *а* показана схема устройства для измерения с помощью преобразователя Холла *3* угла поворота α заслонки *1*, где *2* — постоянный магнит Построить статическую характеристику преобразователя, учитывая, что его эдс пропорциональна составляющей вектора напряженности, перпендикулярной поверхности преобразователя.

724. Найти эдс преобразователя Холла при углах поворота его относительно направления магнитного поля $\alpha=10$, 30, 75, 140, 290°, если при $\alpha=0$ его максимальная эдс 1 В. При каких углах поворота эдс на выходе примет отрицательные значения? Объяснить физический смысл отрицательного знака эдс.

725. Построить статическую характеристику реостатного преобразователя угла поворота (рис 77 *б*), сопротивление которого при изменении угла от 0 до 180° линейно меняется от 10 до 1 кОм. В качестве индикатора служит вольтметр с внутренним сопротивлением 10 кОм, а эдс 10 В.

726. Найти зависимость полного сопротивления индуктивного преобразователя от перемещения l, если индуктивность его катушки изменяется линейно от 0,1 до 1,1 мГн при передвижении стержня на расстояние $l=10$ мм. Активное сопротивление катушки 10 Ом, частота переменного напряжения 50 Гц.

727. Конденсатор, используемый в качестве преобразователя угла поворота (см. рис. 3), подключен к источнику переменного напряжения 20 В частотой 50 Гц. Найти статическую характеристику $I=f(\alpha)$ и чувствительность преобразователя. если расстояние между пластинами $l=0{,}01$ м, радиус полуокружности $R=0{,}2$ м.

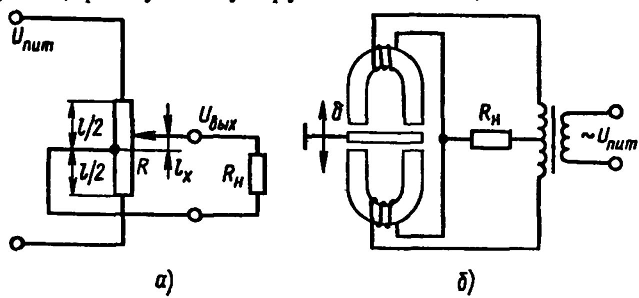


Рис. 78. *а*—к задаче 728; *б*—к задаче 729

728. Потенциометрический преобразователь перемещения, схема которого приведена на рис. 78, *а*, с сопротивлением $R=1$ кОм и длиной $l=25$ мм подключен к источнику постоянного напряжения 25 В. Найти напряжение на выходе преобразователя и его чувствительность при перемещениях контакта $l_x=5$, 10, 20 мм, если $R_н=5$ кОм.

729. Обмотки индуктивного преобразователя перемещения, схема которого приведена на рис. 78, *б*, имеют общее число витков $w=200$ и расположены на сердечнике из литой стали с параметрами $S=5\cdot10^{-4}$ м^2 и $l=0{,}2$ м. Найти ток на выходе преобразователя при зазорах $\delta=0{,}2$; 0,4 и 0,5 мм, если индукция магнитного потока $B=1{,}8$ Тл.

730. При изменении частоты вращения ротора тахогенератора от 100 до 300 об/мин напряжение на его выходе изменяется линейно от 5 до 10 В. Какова чувствительность тахогенератора и абсолютная погрешность измерения частоты вращения, если абсолютная погрешность подключенного к его выводам вольтметра составляет 0,1 В?

731. Напряжение тахогенератора пропорционально частоте вращения его ротора. Найти изменение напряжения тахогенератора во времени и его чувствительность, если число его оборотов (рад) меняется во времени по уравнению $n = n_0(1 - e^{-10t})$, а коэффициент пропорциональности $k_\omega = 1$ В·с/рад.

732. На рис. 79 представлена схема устройства для измерения уровня с помощью трех пар излучатель — фотоэлемент. Построить статическую характеристику устройства $E = f(h)$ при последовательном подключении фотоэлемента к индикатору, если $E_1 = E_2 = E_3 = E_0$.

733. Фотоэлементы (рис. 79) подключаются последовательно к индикатору. Найти ток в цепи при перекрытии фотосвязей излучателя *И* и фотоэлемента *Ф* каждого уровня, если эдс $E_1 = E_2 = E_3 = 1{,}5$ В, сопротивление нагрузки $R_н = 1$ кОм, а внутреннее сопротивление фотоэлемента 100 Ом. Внутренним сопротивлением индикатора пренебречь.

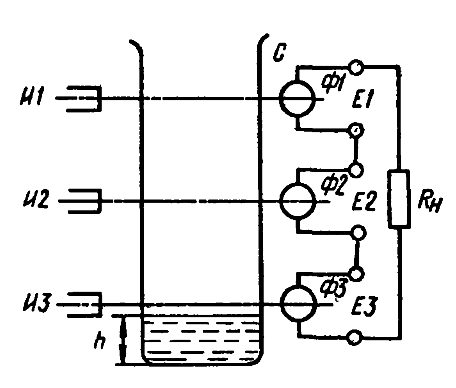


Рис. 79. К задачам 732, 733

734. При изменении освещенности используется фоточувствительный элемент, ток которого изменяется по закону $I = k_1 E$ в диапазоне изменения освещенности от 0 до 100 лк и по закону $I = I_0 + k_2(E - E_0)^2$ в диапазоне от 100 до 200 лк. Определить измерительный ток элемента при освещенности 50, 70, 150 и 175 лк, если при освещенности $E_0 = 100$ лк ток $I_0 = 0{,}1$ мА, а при освещенности 200 лк ток равен 7 мА.

735. Для измерения напряженности магнитного поля используется свойство висмута линейно изменять свое сопротивление под воздействием магнитного поля. Определить напряженности магнитного поля, соответствующие сопротивлениям 5, 10 и 40 кОм висмутовой спирали, если при напряженности 10 А/м сопротивление ее было 8 кОм, а при отсутствии напряженности — 2 кОм.

736. Каким образом, используя источник постоянного тока, вольтметр и катушку индуктивности, можно определить полярность постоянного магнита?

Глава VI

ТРАНСФОРМАТОРЫ

§ 23. Основные параметры и характеристики

Трансформатор представляет собой статический электромагнитный аппарат переменного тока, предназначенный для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения

Эдс E_1 и E_2 (В), индуцированные в первичной и во вторичной обмотках, определяются по формулам:

$$E_1 = 4{,}44 f w_1 \Phi_m; \; E_2 = 4{,}44 f w_2 \Phi_m, \qquad (118)$$

где f — частота переменного тока, Гц; w_1 и w_2 — число витков первичной и вторичной обмоток; Φ_m — амплитудное значение магнитного потока, Вб.

Коэффициент трансформации представляет собой отношение напряжений на выводах первичной и вторичной обмоток трансформатора в режиме холостого хода:

$$k_т = w_1/w_2 = E_1/E_2 \approx U_1/U_2. \qquad (119)$$

Номинальная мощность (В·А) трансформатора определяется по формуле

$$S_н = U_{н2} I_{н2}, \qquad (120)$$

где $U_{н2}$ и $I_{н2}$ номинальные напряжение и ток вторичной обмотки.

Полезная мощность, потребляемая нагрузкой, связана с полной номинальной мощностью зависимостью

$$P_2 = \beta_т S_н \cos\varphi_2, \qquad (121)$$

где $\beta_т$ — коэффициент нагрузки трансформатора; φ_2 угол сдвига фаз между током и напряжением вторичной обмотки.

Коэффициент нагрузки можно определить так:

$$\beta_т = I_2/I_{н2}, \qquad (122)$$

где I_2 — ток вторичной обмотки при выбранной нагрузке.

Если известен коэффициент нагрузки трансформатора, то его кпд можно найти по формуле

$$\eta = \beta_т S_н \cos\varphi_2/(\beta_т S_н \cos\varphi_2 + P_х + \beta_т^2 P_{кн}), \qquad (123)$$

где $P_{кн}$ — мощность потерь в меди (т. е. электрических потерь в обмотках) при номинальном токе, $P_х$ — мощность потерь в стали (т. е. магнитных потерь в стали магнитопровода).

Максимальному кпд трансформатора соответствует коэффициент нагрузки:

$$\beta_{\text{т}}=\sqrt{P_{\text{х}}/P_{\text{кн}}} \qquad (124)$$

ЗАДАЧИ

737. Найти эдс, индуцированную в первичной обмотке трансформатора с числом витков 1000, если он подключен к сети переменного напряжения частотой 400 Гц, а магнитный поток в магнитопроводе $\Phi_m=1{,}25\cdot10^{-4}$ Вб.

738. Определить число витков вторичной обмотки трансформатора, если при магнитном потоке в магнитопроводе 10^{-3} Вб наведенная в ней эдс равна 220 В при частоте 50 Гц.

739. От чего зависят потери в меди обмоток и в стали магнитопровода трансформатора? Объяснить, почему при увеличении нагрузки возрастает ток первичной обмотки трансформатора.

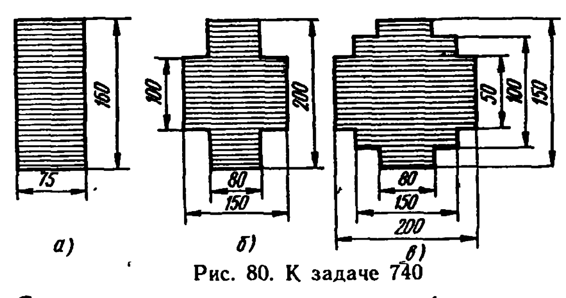


Рис. 80. К задаче 740

740. Сечения магнитопроводов трансформаторов имеют форму, приведенную на рис. 80, *а, б, в*. Найти магнитный поток в каждом из магнитопроводов, если индукция во всех случаях одинакова и равна 1,5 Т.

741. Магнитный поток в магнитопроводе трансформатора импульсно изменяется во времени согласно рис. 26 Определить характер изменения эдс первичной и вторичной обмоток трансформатора.

742. Эдс первичной обмотки трансформатора периодически меняется согласно рис. 27, *а, б, в*. Определить характер изменения магнитного потока в магнитопроводе трансформатора.

743. Магнитопровод трансформатора набран из полос электротехнической стали шириной 49 мм и толщиной 0,3 мм. Какое количество полос имеет магнитопровод,

если при подключении его к сети переменного напряжения частотой 50 Гц эдс вторичной обмотки, имеющей 60 витков, равна 20 В? Магнитопровод используется в режиме насыщения (см. приложение 5); коэффициент заполнения пакета магнитопровода принять равным 0,95.

744. Чему равен коэффициент трансформации трансформатора, если число витков вторичной обмотки: а) в 10 раз меньше, чем первичной; б) в 5 раз больше, чем первичной?

745. Найти коэффициент трансформации, если в режиме холостого хода напряжение на вторичной обмотке трансформатора 20, 110, 330 и 1100 В. Трансформатор подключен к сети переменного напряжения 220 В.

746. Трансформатор в режиме холостого хода подключен к сети переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц. Определить коэффициент трансформации трансформатора, если в его магнитопроводе с активным сечением $6{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^2 амплитудное значение магнитной индукции составило 1,5 Тл, а число витков вторичной обмотки 50.

747. Чему равно сечение магнитопровода трансформатора с коэффициентом трансформации $k_т = 0{,}1$, подключенного в режиме холостого хода к сети переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц, если амплитудное значение магнитной индукции в магнитопроводе 1,5 Тл, а число витков вторичной обмотки 500?

748. Первичная обмотка трансформатора подключена к сети переменного напряжения 220 В. К трем вторичным обмоткам трансформатора w_1, w_2 и w_3 подключены резисторы сопротивлениями $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ Ом, в которых протекают токи $I_1 = 5{,}5$ А, $I_2 = 11$ А, $I_3 = 15{,}4$ А. Определить коэффициенты трансформации для трех вторичных обмоток. Падением напряжения в обмотках трансформатора пренебречь.

749. Определить число витков первичной обмотки измерительного трансформатора напряжения 8000/100, если число витков вторичной обмотки 150.

750. Измерительный трансформатор напряжения имеет обмотки с числом витков $w_1 = 10\,000$ и $w_2 = 200$. К вторичной обмотке присоединен вольтметр с номинальным напряжением 150 В. Определить коэффициент трансформации и предельное напряжение, которое можно измерить.

751. Токоизмерительные клещи представляют собой трансформатор, первичной обмоткой которого является

провод. Сколько витков у вторичной (измерительной) обмотки, к которой подключен амперметр с верхним пределом измерения 5 А? Ток провода равен 500 А.

752. По зависимостям между напряжениями вторичных и первичных обмоток трех трансформаторов (рис. 81) определить коэффициенты трансформации каждого из них и указать, какие являются понижающими, а какие повышающими.

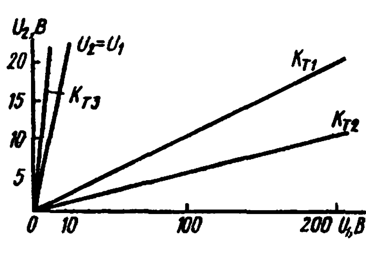


Рис. 81. К задаче 752

753. Напряжения на вторичной и первичной обмотках трансформатора в режиме холостого хода равны соответственно 100 В $\pm$2% и 220 В $\pm$3%. Определить коэффициент трансформации и относительную погрешность его определения.

754. Трансформатор с числом витков вторичной обмотки 50 подключен к сети переменного напряжения 380 В частотой 50 Гц. Определить коэффициент трансформации и эдс E_2 трансформатора, если магнитопровод изготовлен из электротехнической стали и имеет сечение $3{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^2. Напряженность магнитного поля магнитопровода 400 А$\cdot$м, а коэффициент заполнения пакета магнитопровода 0,95.

755. По каким внешним признакам обмотку высокого напряжения можно отличить от обмотки низкого напряжения?

756. Чему равен кпд трансформатора, если общие потери составляют 2% от мощности, потребляемой нагрузкой?

757. При мощности $P_2 = 10$ кВт, потребляемой нагрузкой трансформатора, его кпд составлял 97%. Чему равна мощность потерь в трансформаторе в этом случае? Построить график зависимости $\eta = f(\beta_т)$ в диапазоне изменения коэффициента нагрузки $\beta_т = 0{,}1 \div 1{,}1$, если мощности потерь $P_х$ и $P_{кн}$ равны соответственно 60 и 250 Вт. Коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi_2$ считать постоянным.

758. К сети переменного напряжения 220 В подключен трансформатор, во вторичной обмотке которого эдс 6,3 В и ток 3 А. Пренебрегая падением напряжения в первичной обмотке, найти номинальную мощность и коэффициент трансформации трансформатора, если изменение напряжения трансформатора 5%.

759. Определить номинальную мощность трансформатора, подключенного к сети переменного напряжения 3600 В, если при номинальной нагрузке ток во второй обмотке 450 А. Коэффициент трансформации трансформатора 16, а изменение напряжения трансформатора составляет 2%.

760. Трансформатор с номинальной мощностью 10 кВ·А имеет номинальное напряжение на вторичной обмотке $U_{н2}=220$ В. Мощности потерь $P_х$ и $P_{кн}$ соответственно равны 60 и 190 Вт. Определить необходимое сечение провода вторичной обмотки, чтобы при номинальной нагрузке плотность тока не превышала 4 А/мм^2. Чему равен кпд трансформатора при номинальной нагрузке с коэффициентом мощности 0,8?

761. Номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора 220 В. К этой обмотке подключена нагрузка, ток которой 80 А. Найти мощность, потребляемую нагрузкой, если коэффициент мощности $\cos\varphi_2=0,7$; 0,85; 0,97.

762. Мощности потерь трансформатора $P_х$ и $P_{кн}$ соответственно равны 150 и 400 Вт. Вычислить кпд трансформатора, если коэффициент мощности $\cos\varphi_2$ при номинальной нагрузке равен 0,87, а полная мощность нагрузки 20 кВ·А.

763. Трансформатор с номинальной мощностью 10 кВ·А имеет номинальное напряжение на вторичной обмотке 380 В. Найти полезную мощность и коэффициент нагрузки, если при ее подключении ток во вторичной обмотке 240 А. Коэффициент мощности вторичной цепи 0,86; потерями в трансформаторе пренебречь.

764. Трансформатор с номинальной мощностью 20 кВ·А имеет номинальное напряжение на первичной обмотке 380 В. Кпд трансформатора при коэффициенте мощности вторичной цепи, равном 0,8, составляет 97%. Определить номинальный ток вторичной обмотки трансформатора, активную мощность нагрузки и мощность потерь в трансформаторе в номинальном режиме.

765. Чему равен коэффициент мощности $\cos\varphi_2$ для трансформатора, работающего на нагрузку мощностью 2 кВт с коэффициентом мощности $\cos\varphi_н=0,8$, если параллельно вторичной обмотке трансформатора подключен конденсатор емкостью 50 мкФ? Напряжение вторичной стороны трансформатора 220 В, частота напряжения сети 50 Гц.

766. Номинальная мощность трансформатора 30 кВ·А,

мощности потерь $P_х$ и $P_{кн}$ соответственно равны 200 и 600 Вт Найти коэффициент нагрузки трансформатора если его кпд составляет 98%, а коэффициент мощности нагрузки 1.

767. Определить ток вторичной обмотки и коэффициент нагрузки трансформатора с номинальной мощностью $S_н = 8$ кВ·А, если напряжение на вторичной обмотке 380 В, коэффициент мощности $\cos\varphi_2 = 0{,}8$, а мощность, потребляемая нагрузкой, составляет 6 кВт.

768. Чему равен коэффициент нагрузки трансформатора, соответствующий его максимальному кпд, если мощности потерь $P_х$ и $P_{кн}$ равны 80 и 200 Вт?

769. В трансформаторе с номинальной мощностью $S_н = 2{,}5$ кВ·А мощности потерь равны: $P_х = 40$ Вт и $P_{кн} = 60$ Вт. Найти максимальный кпд трансформатора и полезную мощность, потребляемую нагрузкой с коэффициентом мощности $\cos\varphi_2 = 0{,}87$ в режиме, соответствующем максимальному кпд.

770. В качестве электроизоляционного материала в высоковольтном трансформаторе применялась лакоткань толщиной 0,1 мм. Определить, до каких напряжений может использоваться этот материал.

771. В силовом трансформаторе, в котором в виде теплоты выделяется 3 кВт мощности, действует водяное охлаждение, причем температура воды, подаваемой для охлаждения, составляет 293 К. Определить необходимый расход воды, чтобы ее температура после охлаждения не превышала 313 К. На нагрев воды затрачивается 40% от всей мощности, выделяемой трансформатором в виде теплоты.

772. Во время работы трансформатора вследствие обрыва заземления внутри его прослушивается потрескивание. Каким физическим явлением это объясняется? (Других неисправностей не обнаружено.)

773. Какие неисправности могут вызвать понижение напряжения на вторичной обмотке трансформатора?

§ 24. Режимы работы однофазных трансформаторов

Режим холостого хода трансформатора характеризуется следующими зависимостями:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1; \quad \dot{U}_2 = \dot{E}_2; \quad \dot{I}_2 = 0. \qquad (125)$$

Мощность, потребляемая трансформатором при холостом ходе, расходуется на потери в стали ($P_х \approx P_{ст}$).

Короткое замыкание трансформатора представляет собой такой режим, когда вторичная обмотка замкнута накоротко, при этом

$$\dot{U}_1 = \dot{I}Z_1 - \dot{E}_1;\ \dot{U}_2 = 0;\ \dot{I}_2 = \dot{E}_2/Z_2. \qquad (126)$$

В зависимостях (125) и (126) величины векторов полных сопротивлений первичной и вторичной цепей Z_1 и Z_2 определяются по формулам:

$$z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}\ ;\ z_2 = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2},$$

где R_1, R_2 — активные сопротивления обмоток; L_1, L_2 — индуктивности рассеяния обмоток.

Мощность, потребляемая трансформатором при опыте короткого замыкания, расходуется в обмотках трансформатора ($P_к \approx P_м$).

Напряжение на первичной обмотке, при котором в режиме короткого замыкания в обмотках протекают токи, равные номинальным, называется напряжением короткого замыкания $U_к$. Оно обычно указывается в процентном отношении к номинальному:

$$u_к = \frac{U_к}{U_{н1}} \cdot 100\%. \qquad (127)$$

Режим нагрузки трансформатора характеризуется следующими зависимостями:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1;\ \dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2;\ \dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_н, \qquad (128)$$

где $Z_н$ — вектор полного сопротивления нагрузки.

У нагруженного трансформатора изменение напряжения на вторичной обмотке характеризуется относительной величиной:

$$\Delta u = \frac{U_{2х} - U_2}{U_{2х}} \cdot 100\%, \qquad (129)$$

где $U_{2х}$ — напряжение на вторичной обмотке трансформатора в режиме холостого хода; U_2 — напряжение на вторичной обмотке трансформатора в режиме нагрузки.

Изменение напряжения на вторичной обмотке транс форматора связано с безразмерным значением напряжения короткого замыкания следующей зависимостью:

$$\Delta u = \beta_т(u_{ка} \cos\varphi_2 + u_{кр} \sin\varphi_2), \qquad (130)$$

где $u_{ка}$ и $u_{кр}$ — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания $u_к$.

Схема включения трансформаторов при передаче

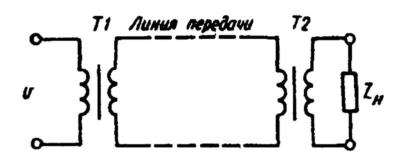


Рис 82. Схема включения трансформаторов при передаче электроэнергии на расстояние; к задачам 803, 804

электроэнергии на расстояние приведена на рис. 82. Повышающий трансформатор *T1* подключен вторичной стороной к линии передачи, а трансформатор *T2* понижает высоковольтное напряжение до номинального напряжения сети.

ЗАДАЧИ

774. Напряжение первичной обмотки трансформатора 3 кВ. Определить коэффициент трансформации трансформатора, если в режиме холостого хода напряжение на выводах его вторичной обмотки 400 В. Найти число витков первичной обмотки, если число витков вторичной обмотки 150.

775. Число витков первичной обмотки трансформатора 100, вторичной — 500. Определить напряжение холостого хода вторичной обмотки, если трансформатор подключен к источнику переменного напряжения 220 В. Найти ток во вторичной обмотке трансформатора, если при подключении активной нагрузки ток в первичной обмотке 10 А. Потерями в трансформаторе пренебречь.

776. Какое количество витков имеют первичная и вторичная обмотки трансформатора, подключенного к сети переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц, если в режиме холостого хода напряжение на вторичной обмотке 110 В, а магнитный поток в магнитопроводе $\Phi=2\times10^{-3}$ Вб?

777. В режиме холостого хода ток в первичной обмотке с активным сопротивлением 20 Ом и индуктивностью рассеяния 50 мГн равен 2,5 А, а выражение для мгновенного значения индуцированной эдс (В) имеет вид: $e=310\ \sin(314t-90°)$. Найти напряжение на первичной обмотке и коэффициент мощности. Построить векторную диаграмму трансформатора в режиме холостого хода, считая, что векторы $\dot{I}_1$ и $-\dot{E}_1$ взаимно перпендикулярны.

778. Однофазный трансформатор имеет следующие данные: $S_н=25$ кВ·А; $U_{н1}=6000$ В; $U_{н2}=220$ В, ток первичной обмотки и потери при холостом ходе $I_{нх}=5\%$, $I_{н1}$ и $P_х=120$ Вт. Найти ток, мощность потерь и коэффициент мощности в режиме холостого хода при напряжениях $U_1=0{,}5$; 0,75; $1{,}1U_{н1}$. Сердечник выполнен из полос

электротехнической стали, амплитуда индукции в номинальном режиме 1,7 Тл.

779. Какие потери возникнут в трансформаторе, если повреждена изоляция пластин сердечника?

780. Напряжение короткого замыкания составляет 5%. Какое напряжение можно подавать при опыте короткого замыкания, если номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора 220 В?

781. В режиме короткого замыкания ток (А) в первичной обмотке имеет мгновенное значение, соответствующее следующему выражению: $i_1 = 14{,}1 \sin 314t$. Найти напряжение на первичной обмотке, если активное и индуктивное сопротивления трансформатора соответственно равны 20 и 9,4 Ом. Построить векторную диаграмму трансформатора в режиме короткого замыкания.

782. Однофазный трансформатор имеет следующие данные: $S_н = 25$ кВ·А, $U_{н1} = 6000$ В. Напряжение первичной обмотки и потери при коротком замыкании $u_к = 5\%$ и $P_к = 600$ Вт. Определить активную и реактивную составляющие напряжения короткого замыкания.

783. Какие неисправности могут быть в трансформаторе, если при проведении опыта короткого замыкания мощность потерь оказалась больше допустимой?

784. Какие причины вызывают деформацию обмоток и разрушение трансформатора при внезапном коротком замыкании вторичной обмотки?

785. Какие электроизмерительные приборы необходимо иметь для проведения опытов холостого хода и короткого замыкания трансформатора?

786. Мощность потерь в меди трансформатора при номинальном токе первичной обмотки 10 А составила 100 Вт. Чему равна мощность потерь в меди при нагруженном трансформаторе, если ток в первичной обмотке 5, 7, 9 А?

787. Трансформатор работает при номинальной нагрузке 8 ч в сутки, а остальное время — в режиме холостого хода. Определить среднесуточный кпд трансформатора, если номинальная мощность потребителя 10 кВт, мощность потерь в стали 100 Вт, а мощность потерь в меди 350 Вт.

788. Трансформатор подключен к сети переменного напряжения 380 В. К его вторичной обмотке подсоединена осветительная сеть, рассчитанная на напряжение 127 В. Чему равен общий ток нагрузки, если ток в первич-

ной обмотке 50 А? Падением напряжения в обмотках трансформатора пренебречь.

789. В трансформаторе с номинальной мощностью 15 кВ·А мощность потерь в стали 200 Вт и мощность потерь в меди при номинальном токе 500 Вт. Определить коэффициент нагрузки трансформатора, если коэффициент мощности нагрузки 0,8, а кпд трансформатора составляет 97%.

790. В трансформаторе с коэффициентом трансформации $k_т=5$ при номинальной нагрузке ток во вторичной обмотке равен 200 А. Найти сечение проводов первичной обмотки, если плотность тока в них не должна превышать 10 А/мм^2.

791. Трансформатор подключен к источнику переменного напряжения 220 В. Ток вторичной обмотки 10 А. Определить коэффициент мощности первичной стороны $\cos\varphi_1$, если мощность нагрузки, подключенной к вторичной обмотке трансформатора, 2 кВт, а кпд трансформатора 95%.

792. Нагрузка с активным сопротивлением 1 Ом и индуктивным 2 Ом питается от вторичной обмотки трансформатора Чему равна активная мощность, потребляемая трансформатором от сети, если его кпд 93%, а напряжение на вторичной обмотке 36 В?

793. Как изменится ток в первичной обмотке трансформатора, если сопротивление нагрузки, подключенной к вторичной обмотке трансформатора, уменьшится вдвое? Потерями в трансформаторе пренебречь.

794. Как изменится ток в первичной обмотке трансформатора, если увеличить вдвое коэффициент трансформации, оставив неизменным сопротивление нагрузки. Потерями в трансформаторе пренебречь.

795. Номинальные напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора соответственно равны 2 кВ и 220 В. Определить токи в первичной и вторичной обмотках, если нагрузка трансформатора при коэффициенте мощности $\cos\varphi_2=0,9$ потребляет мощность 25 кВт. Падением напряжения в обмотках трансформатора пренебречь.

796. Какие физические явления могут одновременно происходить в магнитопроводе трансформатора? Какие потери, вызванные этими явлениями, преобладают в режимах холостого хода; короткого замыкания; нагрузки?

797. Для обмотки трансформатора большой мощности была выбрана прямоугольная шина сечением 5 мм×

×10 мм. Учитывая площадь поверхности охлаждения обмотки, показать, что в этом случае трансформатор может быть больше нагружен, чем при выборе круглого провода с такой же площадью сечения.

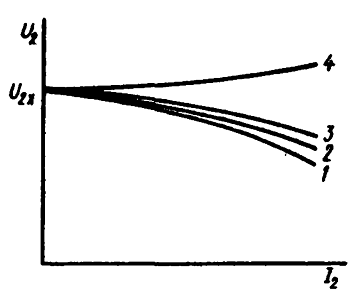


Рис. 83. К задаче 798

798. Указать, какие из внешних характеристик трансформаторов, приведенных на рис. 83 для четырех различных нагрузок, соответствуют: а) максимальному коэффициенту мощности; б) индуктивной нагрузке; в) емкостной нагрузке.

799. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора, подключенного к сети переменного напряжения 220 В, составляет 36 В. Чему равно относительное изменение напряжения на вторичной обмотке, если коэффициент трансформации $k_т = 6$?

800. Определить коэффициент нагрузки трансформатора с номинальным напряжением первичной обмотки 220 В, если отношение активной и реактивной составляющих напряжения короткого замыкания равно 0,5. Коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi_2 = 0{,}8$, напряжение короткого замыкания 11 В, а относительное изменение напряжения на вторичной обмотке 4%.

801. Активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора равны соответственно 1,25 и 6,25%. Найти относительные изменения напряжения на вторичной обмотке при коэффициентах мощности $\cos\varphi_2 = 1$; 0,8; 0,4, если коэффициент нагрузки $\beta_т = 0{,}8$. Построить график зависимости $\Delta u = f(\cos\varphi_2)$ и найти коэффициент мощности, при котором относительное изменение напряжения на вторичной обмотке будет максимальным.

802. Коэффициент нагрузки трансформатора $\beta_т = 0{,}9$, эдс $E_2 = 220$ В, а активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания соответственно равны 2 и 3%. Определить изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора, если коэффициент мощности $\cos\varphi_2 = 0{,}7$.

803. От генератора напряжением 2 кВ передается мощность 10 МВ·А. Определить ток в линии передачи без повышающего трансформатора и при использовании

повышающего трансформатора с коэффициентом трансформации 1/50 (см. рис. 82).

804. От генератора передается мощность 5 МВ·А потребителю, находящемуся на расстоянии 50 км, с помощью трансформаторов согласно рис. 82. Определить общую массу медных проводов линии при передаче мощности под напряжением 50 и 100 кВ, если падение напряжения в проводах составляет 2,5%.

805. Почему предохранители рекомендуется ставить в цепь первичной обмотки трансформатора?

806. Объяснить, допускается ли ручное переключение устройства регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой при отказе схемы дистанционного управления этим устройством.

§ 25. Трехфазные трансформаторы

При симметричной нагрузке трехфазного трансформатора фазные напряжения и токи определяются теми же соотношениями, которые приведены для однофазных трансформаторов. Соотношения для линейных напряжений и токов зависят от способа соединения обмоток трансформатора, который указывается в его маркировке.

На трансформаторных подстанциях обычно используется параллельное включение трехфазных трансформаторов к первичной цепи и к общей нагрузке при соблюдении трех условий: 1) группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов должны быть одинаковые; 2) разница коэффициентов трансформации не должна превышать ±0,5% от их среднего геометрического значения; 3) отклонение напряжений короткого замыкания не должно быть более 10% от их среднего арифметического значения.

Нагрузка между трансформаторами, включенными на параллельную работу, распределяется в соответствии со следующим выражением:

$$S_{I}/S_{II}=(u_{кII}/u_{кI})\cdot(S_{нI}/S_{нII}), \qquad (131)$$

где $u_{кI}$ и $u_{кII}$ — относительные напряжения короткого замыкания первого и второго трансформаторов.

ЗАДАЧИ

807. Каким способом нужно соединить обмотки трехфазного трансформатора, подключенного к трехфазной сети с линейным напряжением 6600 В, чтобы при фазном

коэффициенте трансформации 30 получить вторичные линейные напряжения 220 В?

808. Первичные обмотки одного трехфазного трансформатора соединены звездой, а другого — треугольником. У какого трансформатора должно быть больше витков на фазу первичной обмотки, чтобы при подключении их к одной и той же трехфазной сети магнитные потоки в сердечниках были одинаковыми?

809. Трехфазный трансформатор имеет следующие параметры: $S_н = 20$ кВ·А, $P_x = 220$ Вт, $P_{кн} = 1700$ Вт. Найти кпд трансформатора при номинальной нагрузке для коэффициентов мощности $\cos\varphi_2 = 0{,}85$; 0,81; 0,89.

810. Вычислить наибольший кпд трахфазного трансформатора с номинальной мощностью 3 кВ·А и активную мощность нагрузки, при которой он достигается, если мощности потерь равны: $P_x = 30$ Вт; $P_{кн} = 100$ Вт. Коэффициент мощности нагрузки 0,8.

811. Трехфазный трансформатор с группой соединения обмоток $Y/Y_0 - 0$ и коэффициентом трансформации $k_т = 30$ подключен к трехфазной сети с линейным напряжением 20 кВ. Фазные напряжения во вторичных обмотках при симметричной нагрузке равны 380 В. Найти относительные изменения вторичных фазных напряжений.

812. Трехфазный трансформатор с группой соединения обмоток $Y/\Delta - 11$ имеет следующие фазные напряжения: $U_1 = 2200$ В и $U_2 = 220$ В. Определить число витков обмоток высокого и низкого напряжения каждой фазы, если магнитный поток в магнитопроводе $4 \cdot 10^{-3}$ Вб, а частота переменного тока 50 Гц.

813. Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью 15 кВ·А и группой соединения обмоток $Y/Y_0 - 0$ имеет номинальные фазные напряжения на первичной и вторичной обмотках, соответственно равные 220 и 6000 В. Чему равны номинальные токи и число витков обмотки каждой фазы, если сечение магнитопровода трансформатора 10^{-2} м^2, а амплитудное значение магнитной индукции в магнитопроводе 1,5 Тл? Потерями в трасформаторе пренебречь, частота переменного тока 50 Гц.

814. Трехфазный трансформатор с числом витков на фазу $w_1 = 790$ и $w_2 = 100$ подключен к трехфазной сети с линейным напряжением 3000 В. Определить вторичные линейные напряжения для следующих групп соединения обмоток трансформаторов:

Y/Y_0-0; $Y/\Delta-11$; $Y_0/\Delta-11$;
а) б) в)

815. С какими группами соединения обмоток необходимо выбрать трехфазный трансформатор с фазным коэффициентом трансформации 100, чтобы при подключении к первичной сети напряжением 22 кВ получить линейные напряжения в нагрузке 380, 220, 127 В?

816. Возможно ли параллельное включение трехфазных трансформаторов со следующими коэффициентами трансформации: а) $k_{тI}=150$, $k_{тII}=170$; б) $k_{тI}=130$, $k_{тII}=135$; в) $k_{тI}=180$, $k_{тII}=185$?

817. Коэффициент трансформации одного из трехфазных трансформаторов $k_{тI}=100$. В каких пределах можно выбрать коэффициент трансформации $k_{тII}$ параллельно подключенного трансформатора?

818. В каком диапазоне отношения относительных напряжений короткого замыкания первого и второго трехфазных трансформаторов $u_{кI}/u_{кII}$ выполняется третье условие параллельного включения трансформаторов?

819. Два параллельно включенных трехфазных трансформатора с одинаковыми номинальными мощностями $S_{нI}=S_{нII}=50$ кВ·А при соблюдении других условий параллельного включения отличаются относительными напряжениями короткого замыкания, соответственно равными $u_{кI}=5\%$; $u_{кII}=5{,}4\%$. Как распределится нагрузка между этими трансформаторами?

820. Два трехфазных трансформатора, включенные на параллельную работу, имеют следующие параметры: $S_{нI}=42$ кВ·А, $u_{кI}=5{,}5\%$; $S_{нII}=32$ кВ·А, $u_{кII}=5\%$. Как распределится между ними суммарная мощность нагрузки, равная 72 кВ·А, и насколько будет загружен каждый трансформатор?

821. Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью $S_{нI}=4$ кВ·А имеет относительное напряжение короткого замыкания $u_{кI}=5\%$. Определить номинальную мощность другого трансформатора, имеющего относительное напряжение короткого замыкания $u_{кII}=5{,}3\%$, чтобы при параллельной работе оба трансформатора имели одинаковую нагрузку. Коэффициенты трансформации и группы соединения обмоток обоих трансформаторов одинаковы.

822. На параллельную работу включены два трехфазных трансформатора, которые имеют одинаковые номинальные мощности $S_{нI}=S_{нII}=1000$ кВ·А, равные коэффициенты трансформации, но различные относительные

напряжения короткого замыкания $u_{кI}=5,5\%$ и $u_{кII}=$ $=5,8\%$. Указать, какой трансформатор будет недогружен, и найти недоиспользованную им мощность.

823. Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью 50 кВ·А и относительным напряжением короткого замыкания 5% включен на параллельную работу со вторым трансформатором. Какую номинальную мощность должен иметь второй трансформатор, чтобы ток вторичной обмотки в нем был: а) равен току первого; б) в 2 раза больше его; в) в 2 раза меньше его? Коэффициенты трансформации и относительные напряжения короткого замыкания обоих трансформаторов считать равными.

824. Объяснить, почему при параллельном включении трехфазных трансформаторов могут возникнуть уравнительные токи и почему они нежелательны.

825. Два трансформатора подключены параллельно (рис. 84). Что покажет вольтметр и как по его показаниям можно судить о правильности включения трансформаторов на параллельную работу?

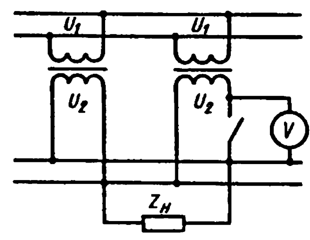


Рис. 84. К задаче 825

826. К трехфазному трансформатору с группой соединения обмоток Y/Y$_0$—0 подключены три однофазных потребителя, которые образуют симметричную нагрузку. Изменятся ли напряжение и ток одного из потребителей, если два других отключены?

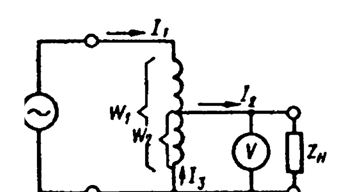
827. Почему при сборке Ш-образных магнитопроводов трехфазных трансформаторов применяются изолированные полосы холоднокатаной стали, вырезанные вдоль прокатки, а затем шихтованные так, чтобы направление магнитного потока совпало с направлением прокатки стали (или составило с ним угол 180°)?

828. Объяснить, возможно ли переключение обмоток низшего напряжения трехфазных трансформаторов с треугольника на звезду с целью повышения линейного напряжения с 6 до 10 кВ.

§ 26. Автотрансформаторы

Принципиальная схема однофазного автотрансформатора приведена на рис. 85. Ток во вторичной цепи автотрансформатора состоит из двух слагаемых:

$$I_2 = I_1 + I_3, \qquad (132)$$



ис 85 Схема однофазного втотрансформатора, к задачам 836, 837

где I_3 — ток, протекающий в общей части обмотки.

В понижающем автотрансформаторе ток I_3 совпадает по направлению с током I_2, в повышающем ток I_3 направлен противоположно току I_2.

Коэффициент трансформации определяется по тем же формулам, что и для обычных трансформаторов.

Мощность вторичной обмотки состоит из двух составляющих:

$$S_н = U_2 I_1 + U_2 I_3 = S_э + S_{эм}, \qquad (133)$$

де $S_{эм}$ — мощность, передаваемая из первичной цепи о вторичную электромагнитным путем (типовая мощость), В·А; $S_э$ — мощность, передаваемая из первичной епи во вторичную электрическим путем, В·А.

Типовая мощность автотрансформатора связана с ноинальной мощностью зависимостью

$$S_{эм} = k_{ат} S_н, \qquad (134)$$

де $k_{ат}$ — коэффициент выгодности автотрансформатора.

Коэффициент выгодности автотрансформатора опреляется через коэффициент трансформации $k_т$ зависимостью

$$k_{ат} = 1 - \frac{1}{k_т} \qquad (135)$$

Чем меньше коэффициент выгодности, тем больше кономия в меди обмоток и в стали магнитопровода о сравнению с обычным трансформатором с той же оминальной мощностью. Поэтому автотрансформаторы рименяют при коэффициентах трансформации, близких единице.

ЗАДАЧИ

829. Первичная обмотка трансформатора имеет 1000 итков и включена в сеть переменного напряжения 20 В Какое напряжение можно получить во вторичной бмотке с числом витков 10, 100, 500?

830. Автотрансформатор включен в сеть переменного

напряжения 220 В. Ток в первичной обмотке $I_1=10$ А. Определить токи I_2 и I_3 во вторичной цепи, если напряжение на выводах вторичной обмотки 110 В. Потерями в автотрансформаторе пренебречь.

831. Для ограничения тока трехфазную индуктивную нагрузку подключают к сети через трехфазный автотрансформатор, коэффициент трансформации которого 2. Найти ток в обмотке высокого напряжения автотрансформатора, если без применения автотрансформатора в нагрузке протекает ток 96 А.

832. Первичная обмотка однофазного автотрансформатора имеет 1800 витков и включена под напряжение 450 В. В каком месте этой обмотки следует сделать вывод для вторичной обмотки, чтобы понизить напряжение до 300 В?

833. Автотрансформатор с числом витков первичной обмотки 1000 подключен к сети переменного напряжения 127 В. Определить число витков вторичной обмотки, необходимое для получения напряжения 50, 100, 200 В.

834. Что покажет вольтметр (рис. 86), если число витков вторичной обмотки $w_2=400$, а число витков первичной обмотки $w_1=100$, 200, 400? Автотрансформатор подключен к сети переменного напряжения 220 В.

835. Однофазный трансформатор заменили автотрансформатором, причем номинальные напряжения в первичной и вторичной обмотках и токи в первичных обмотках были одинаковы в обоих случаях и соответственно равны: $U_{н1}=220$ В; $U_{н2}=110$ В; $I_1=10$ А. На сколько уменьшится при такой замене активное сечение меди общей части обмоток, если допустимая плотность тока 2 А/мм²? Потерями в трансформаторе пренебречь.

836. Автотрансформатор (см. рис. 85) с числом витков $w_1=2000$ и $w_2=800$ подключен к сети переменного напряжения 380 В. Определить токи I_1, I_2 и I_3, если нагрузкой является резистор, сопротивление которого 1 кОм. Падением напряжения на обмотках автотрансформатора пренебречь.

837. Определить токи I_1 и I_2 автотрансформатора (см. рис. 85), если ток нагрузки 5 А, а число витков первичной обмотки в два раза больше, чем вторичной

838. Как будут изменяться токи нагрузки первичной и

Рис. 86. К задачам 834, 838

вторичной обмоток автотрансформатора (рис. 86) при перемещении его подвижного контакта из среднего положения вверх?

839. Для плавного изменения напряжения используется автотрансформатор с подвижным щеточным контактом, причем щетка этого контакта замыкает одновременно два витка вторичной обмотки. Какое минимальное сопротивление должна иметь щетка подвижного контакта, чтобы ток межвиткового замыкания не превышал 0,1 А? Число витков вторичной обмотки 100, общее напряжение на ней 1200 В.

840. Определить соотношение витков первичной и вторичной обмоток, при которой типовая мощность автотрансформатора в 2 раза меньше его номинальной мощности.

841. В автотрансформаторе с номинальной мощностью 1 кВ·А напряжение и ток обмоток при номинальной нагрузке соответственно равны: $U_2=100$ В и $I_1=8$ А. Определить типовую мощность, мощность, передаваемую электрическим путем, и коэффициент трансформации автотрансформатора.

842. Чему равны коэффициенты выгодности $k_{ат}$ автотрансформатора для следующих коэффициентов трансформации: $k_т=1,5$; 2; 10? Построить график зависимости коэффициента выгодности $k_{ат}=f(k_т)$ в диапазоне $1 \leqslant k_т \leqslant 10$.

843. Напряжение на вторичной обмотке автотрансформатора 127 В ± 1%, а на первичной 380 В ± 5%. Определить коэффициент выгодности автотрансформатора и относительную погрешность его определения.

844. Начертить принципиальные электрические схемы трехфазного автотрансформатора с подключением фазовых нагрузок звездой и треугольником.

Глава VII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

§ 27. Асинхронные электрические машины

Асинхронные электрические машины характеризуются скольжением:

$$s=(n_1-n_2)/n_1, \qquad (136)$$

где n_1 — частота вращения магнитного поля (синхронная

частота вращения), об/мин; n_2 — частота вращения ротора, об/мин.

Частота вращения ротора определяется по формуле

$$n_2=\frac{60f_1}{p}(1-s), \qquad (137)$$

где f_1 — частота переменного напряжения сети; p — число пар полюсов машины.

Вращающееся магнитное поле пересекает обмотки статора и ротора и индуцирует в них эдс, действующие значения которых при неподвижном роторе равны:

$$E_1=4{,}44k_{w1}f_1w_1\Phi_m;\ E_2=4{,}44k_{w2}f_1w_2\Phi_m, \qquad (138)$$

где w_1, w_2 — число последовательно соединенных витков обмоток фаз статора и ротора; k_{w1}, k_{w2} — обмоточные коэффициенты статора и ротора; Φ_m — амплитудное значение магнитного потока вращающегося поля, Вб.

Эдс, индуцируемая в обмотке фазы вращающегося ротора, выражается формулой

$$E_{2s}=4{,}44k_{w2}sf_1w_2\Phi_m=sE_2. \qquad (139)$$

Ток во вращающемся роторе определяется так:

$$I_{2s}=E_{2s}/\sqrt{R_2^2+(X_2s)^2}, \qquad (140)$$

где R_2 — активное сопротивление обмотки неподвижного ротора; X_2 — индуктивное сопротивление рассеяния неподвижного ротора.

Вращающий момент (Н·м) асинхронного двигателя рассчитывается по формуле

$$M=k_д I_{2s}\Phi_m\cos\varphi_2, \qquad (141)$$

где $k_д$ — постоянный коэффициент, определяемый конструктивными данными двигателя; φ_2 — угол сдвига фаз между током ротора и его эдс.

Для расчета зависимости момента от скольжения $M=f(s)$ с достаточной точностью применима упрощенная формула:

$$M=2M_к\Big/\left(\frac{s}{s_к}+\frac{s_к}{s}\right), \qquad (142)$$

где $s_к$ — критическое скольжение, пропорциональное активному сопротивлению; $M_к$ — критический момент, пропорциональный квадрату напряжения обмотки статора.

Кпд асинхронного двигателя находят по формуле

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}\cdot 100\%=\frac{P_1-\Sigma P}{P_1}\cdot 100\%, \qquad (143)$$

где P_2 — полезная мощность на валу двигателя, Вт;

P_1 — мощность, подводимая к двигателю, Вт; ΣP — суммарная мощность потерь в двигателе, Вт.

Механическая характеристика $n_2 = f(M)$ при $U_1 = \text{const}$ и $f_1 = \text{const}$ является основной характеристикой асинхронных электрических машин.

ЗАДАЧИ

845. Определить скольжение асинхронного двигателя, ротор которого вращается с частотой 2800 об/мин, если синхронная частота вращения 3000 об/мин.

846. Какова частота вращения магнитного поля асинхронного двигателя, подключенного к сети переменного напряжения частотой 50 Гц, при числе пар полюсов 2?

847. Частота вращения магнитного поля асинхронной машины 1000 об/мин. Определить частоту вращения ротора машины при скольжениях 1, 0, —1, —2. Объяснить физический смысл полученных значений частоты вращения.

848. Частота вращения магнитного поля многоскоростного асинхронного двигателя после переключения обмоток возросла с 1500 до 3000 об/мин. Чему равно скольжение после переключения, если первоначально оно было 0,06?

849. При частоте вращения магнитного поля многоскоростной асинхронной машины 1000 об/мин скольжение составляло 0,1. Чему равно скольжение при той же частоте вращения ротора и следующих частотах вращения магнитного поля: 500; 1500; 2000 об/мин?

850. Какое число пар полюсов должен иметь асинхронный двигатель, питающийся от сети переменного напряжения частотой 50 Гц, при частоте вращения магнитного поля статора 600 об/мин?

851. С какой частотой вращается ротор четырехполюсного асинхронного двигателя, если скольжение $s=0{,}2$, а частота напряжения сети 50 Гц?

852. На щитке асинхронного двигателя указана номинальная частота вращения вала 730 об/мин. Определить скольжение ротора, вращающегося с указанной частотой, и число пар полюсов статора, если частота напряжения сети 50 Гц.

853. При угловой скорости вращения ротора четырехполюсного асинхронного двигателя 150 рад/с скольжение

составляло 1,5%. Найти частоту напряжения питания и синхронную частоту вращения двигателя.

854. Скольжение четырехполюсного трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором изменяется от 0,003 до 0,05 при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной. Определить диапазон изменения частоты вращения ротора, если частота напряжения сети 50 Гц.

855. При изменении частоты напряжения питания в 2 раза частота вращения магнитного поля асинхронного двигателя увеличилась на 750 об/мин. Двигатель имеет четыре пары полюсов. Какова была первоначальная частота напряжения питания?

856. Магнитный поток трехфазного асинхронного двигателя $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ Вб. Эдс, индуцируемая в обмотке статора, соединенной звездой, равна 380 В. Определить число витков обмотки фазы статора, если обмоточный коэффициент статора 0,95, а частота переменного напряжения сети 50 Гц.

857. Частота напряжения питания одного асинхронного двигателя в 8 раз больше, а магнитный поток в 2 раза меньше, чем другого. Каково соотношение между эдс, индуцируемыми в роторах этих двигателей, в первый момент после пуска?

858. Асинхронный трехфазный двигатель с фазным напряжением 127 В и соединением обмоток треугольником необходимо использовать в сети с линейным напряжением 220 В Каким образом это осуществляется на практике?

859. Число витков обмотки фазы статора асинхронного двигателя $w_1 = 70$, ротора $w_2 = 40$, а обмоточные коэффициенты соответственно равны: $k_{w1} = 0{,}95$ и $k_{w2} = 0{,}965$. Вычислить эдс, индуцируемые в обмотках фаз статора и ротора двигателя: а) при неподвижном роторе и б) при вращении его со скольжением 0,022, если магнитный поток $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ Вб. Двигатель подключен к промышленной сети переменного тока.

860. Эдс между кольцами неподвижного фазного ротора восьмиполюсного асинхронного двигателя равна 250 В при частоте напряжения сети 50 Гц. Рассчитать эдс обмотки фазы ротора при вращении его с частотой 720 об/мин.

861. Определить индуктивное сопротивление рассеяния X_2 неподвижного ротора асинхронного двигателя, если известны следующие его параметры: активное сопротив-

ление обмотки $R_2 = 5$ Ом; индуцируемая эдс $E_2 = 110$ В; ток в роторе $I_2 = 10$ А.

862. Чему равно минимальное индуктивное сопротивление рассеяния X_2 неподвижного ротора асинхронного двигателя, если ток в роторе не превышает 50 А, индуцируемая эдс $E_2 = 200$ В, а активное сопротивление обмотки $R_2 = 0{,}5X_2$?

863. Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки фазы неподвижного ротора асинхронного двигателя 1,2 Ом. Вычислить индуктивное сопротивление рассеяния обмотки фазы ротора, вращающегося со скольжением 0,032.

864. Активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния обмотки фазы неподвижного ротора асинхронного двигателя соответственно равны 0,45 и 19 Ом. Определить ток в обмотке фазы ротора, если при вращении ротора со скольжением 0,05 в ней наводится эдс 10 В. Найти ток в обмотке фазы ротора в момент пуска двигателя.

865. Для плавного регулирования частоты вращения асинхронного двигателя последовательно каждой фазе обмотки ротора с активным сопротивлением 4 Ом и индуктивностью 20 мГн подключен переменный резистор сопротивлением 10 Ом. Определить ток в цепи, напряжения на обмотке и переменном резисторе, если индуцируемая в обмотке фазы ротора эдс равна 15 В при частоте 100 Гц.

866. Каково отношение пускового тока ротора асинхронного двигателя к номинальному, если скольжение в номинальном режиме 0,05, а соотношение между активным сопротивлением обмотки и индуктивным сопротивлением рассеяния неподвижного ротора $R_2/X_2 = 0{,}15$?

867. При температуре среды 293 К ток во вращающемся роторе, имеющем активное сопротивление обмотки 3 Ом и индуктивное сопротивление рассеяния 20 Ом, при скольжении 0,05 равен 5 А. В каких пределах будет меняться ток ротора при применении двигателя в температурном диапазоне от 253 до 313 К? Обмотка ротора выполнена из медного провода.

868. Активное сопротивление обмотки неподвижного ротора асинхронной машины 1 Ом, а индуктивное сопротивление рассеяния 10 Ом. Ток во вращающемся роторе при скольжении 0,08 равен 20 А. Чему равен ток ротора при скольжениях 0,01; 0,05; 0,09? Построить график

зависимости тока вращающегося ротора от скольжения, т. е. $I_{2s}=f(s)$.

869. Чему равно соотношение между активным сопротивлением обмотки и индуктивным сопротивлением рассеяния ротора асинхронного двигателя, если при вращении со скольжением 0,03 ток ротора равен 10 А, а при вращении со скольжением 0,06 ток составляет 19 А?

870. Асинхронный двигатель подключен к трехфазной сети напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Определить вращающий момент двигателя, если ток во вращающемся роторе $I_{2s}=10$ А, а постоянный коэффициент $k_д=150$. Число последовательно соединенных витков обмотки фазы статора $w_1=150$, обмоточный коэффициент статора $k_{w1}=0{,}92$, коэффициент мощности $\cos\varphi_2=0{,}8$.

871. Пусковой момент асинхронного двигателя равен 35 Н·м. Найти вращающий момент двигателя при вращении со скольжением 0,05, если активное сопротивление обмотки ротора 0,8 Ом, а индуктивное сопротивление рассеяния ротора 2,5 Ом.

872. Вращающий момент асинхронного двигателя при частоте вращения его ротора 1000 об/мин был равен 50 Н·м. Определить мощность, развиваемую двигателем.

873. Ротор асинхронного двигателя вращается с частотой 1440 об/мин, причем от сети потребляется мощность 55 кВт. Чему равны мощность на валу двигателя и развиваемый им момент, если мощность потерь в двигателе составляет 5 кВт?

874. Четырехполюсный асинхронный двигатель работает в режиме противовключения при частоте вращения ротора 370 об/мин и развивает тормозной момент $M=380$ Н·м. Определить электромагнитную мощность двигателя и мощность, потребляемую от промышленной сети переменного тока, если мощность потерь в статоре составляет 3,5 кВт.

875. В партии асинхронных двигателей воздушный зазор между статором и ротором был выполнен с разбросом $\pm10\%$. В каких пределах будет изменяться по сравнению с номинальным значением магнитный поток двигателя, если магнитное сопротивление определяется воздушным зазором?

876. Мощность, подводимая к асинхронному двигателю, равна 5 кВт. Определить кпд двигателя, если суммарная мощность потерь составляет 650 Вт.

877. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором потребляет от сети мощность $P_1=2{,}8$ кВт при

токе $I_1=14{,}7$ А и напряжении $U_1=220$ В. Найти кпд и коэффициент мощности двигателя $\cos\varphi_1$, если полезная мощность на его валу $P_2=2{,}34$ кВт.

878. Вычислить суммарную мощность потерь асинхронного двигателя, который потребляет от сети мощность $P_1=2{,}2$ кВт, если его кпд равен 83%.

879. Асинхронная машина работает в генераторном режиме, причем мощность на валу составляет 5 кВт, а суммарная мощность потерь 0,8 кВт. Определить кпд машины.

880. При вращении ротора асинхронного двигателя с частотой 980 об/мин подводимая к двигателю мощность равна 20 кВт, а суммарная мощность потерь — 1,5 кВт. Найти скольжение двигателя и его кпд, если число пар полюсов 3, а частота напряжения сети 50 Гц.

881. Определить мощность, подводимую к трехфазному асинхронному двигателю с фазным ротором, а также ток в обмотках статора при их соединении звездой и треугольником, если при номинальном режиме работы параметры двигателя следующие: полезная мощность на валу $P_2=6{,}3$ кВт, напряжение на статоре $U_1=380/220$ В, коэффициент мощности двигателя $\cos\varphi_1=0{,}69$ и кпд $\eta=88\%$.

882. При каком режиме работы асинхронного двигателя коэффициент мощности двигателя $\cos\varphi_1$ будет самым низким? Как он будет изменяться при увеличении нагрузки двигателя?

883. При увеличении потребляемой мощности асинхронного двигателя P_1 в 2,2 раза его кпд η увеличился на 10%. Найти первоначальные значения P_1 и η, если суммарная мощность потерь увеличилась от 0,5 до 0,8 кВт.

884. Определить критическое скольжение $s_к$ асинхронного двигателя, если двигатель имеет следующие параметры: отношение критического и номинального моментов $M_к/M_н=2{,}1$; номинальное скольжение $s_н=0{,}033$.

885. Определить частоту вращения асинхронного двигателя при развиваемом моменте $M=1{,}5\ M_н$, если двигатель имеет следующие параметры: отношение критического момента к номинальному $M_к/M_н=2$; критическое скольжение $s_к=0{,}14$; $n_1=1500$ об/мин.

886. Напряжение в сети, в которую включен асинхронный двигатель, понизилось на 5%. Определить максимальный момент, развиваемый двигателем, если в номинальном режиме $P_н=4{,}5$ кВт, $n_{2н}=2840$ об/мин, отношение $M_к/M_н=2{,}2$.

887. Асинхронный двигатель имеет следующие параметры в номинальном режиме: $P_н=3$ кВт; $n_н=2880$ об/мин, а отношение $M_к/M_н=2$. Построить зависимость вращающего момента $M=f(s)$ при изменении скольжения от 0 до $2s_к$.

888. Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет следующие данные: $M_н=120$ Н·м, $n_1=2900$ об/мин, отношение $M_к/M_н=2$ и $s_к=12\%$. Построить механическую характеристику асинхронного двигателя в режимах от холостого хода до полного торможения.

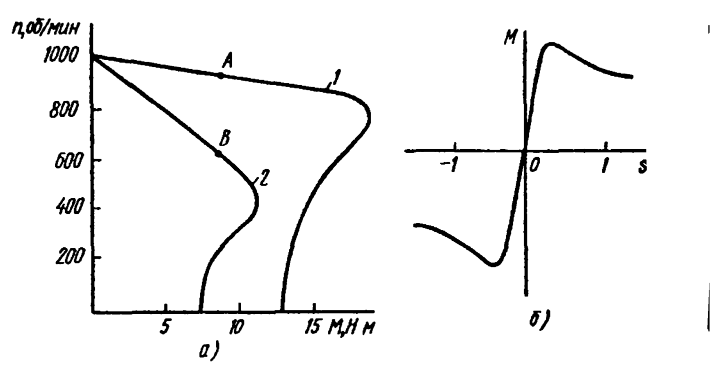


Рис. 87. *а*—к задачам 889, 890, 891; *б*—к задаче 892

889. Как и почему изменится вид механической характеристики асинхронного двигателя, изображенной на рис. 87,*а* (кривая *1*): а) при уменьшении напряжения сети; б) при уменьшении частоты напряжения сети в два раза?

890. По графикам механических характеристик двух асинхронных двигателей одинаковой мощности (рис. 87, *а*) определить, в каком соотношении находятся токи роторов при работе двигателей в режимах, соответствующих точкам *A* и *B*.

891. Определить скольжение двигателя в двух режимах работы, соответствующих точкам *A* и *B* механических характеристик на рис. 87, *а*.

892. На рис. 87, *б* дан график зависимости вращающего момента от скольжения, т. е. $M=f(s)$. Показать на графике участки, где асинхронная электрическая машина работает: а) в режиме двигателя; б) в режиме генератора; в) в режиме тормоза.

893. В цепь ротора асинхронного двигателя подключили регулировочный резистор. Изменится ли при этом

скольжение, если момент на валу двигателя считать неизменным?

894. Как изменится ток ротора асинхронного двигателя, если при неизменном моменте на валу двигателя уменьшить напряжение на обмотке статора на 5—10%?

895. Напряжение сети понизилось на 10%. Как изменится при этом вращающий момент асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?

896. Объяснить, как меняются напряжение, ток и вращающий момент при пуске асинхронного двигателя с

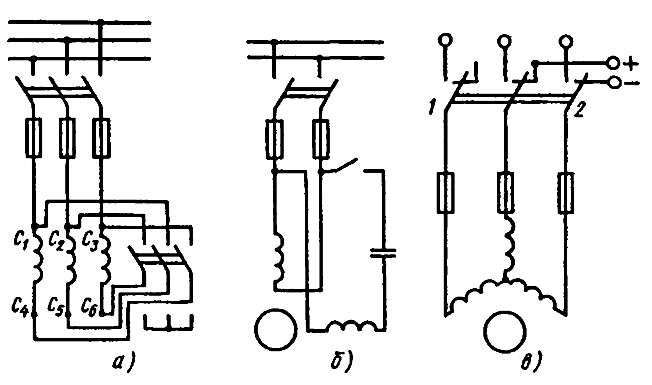


Рис. 88. *а*—к задаче 896; *б*—к задаче 902; *в*—к задаче 912

короткозамкнутым ротором, если обмотка статора переключается со звезды на треугольник (рис. 88, *а*).

897. С каким ускорением начнет вращаться при холостом ходе ротор асинхронного двигателя, имеющий момент инерции на валу 0,05 кг·м^2, если развиваемый двигателем пусковой момент равен 50 Н·м?

898. При разгоне асинхронного двигателя частота вращения (об/мин) его вала возрастала по закону $n = 1000\,(1 - e^{-t/\tau})$. Определить частоту вращения в моменты времени $t = 1$, 2, 5 с, если постоянная времени $\tau = 1$ с. В какой момент частота вращения будет равна 500 об/мин?

899. Определить частоту вращения ротора асинхронного двигателя в моменты времени $t = 5$, 10, 25 с после начала разгона, если угловое ускорение (1/с^2) менялось по закону $\varepsilon(t) = 21e^{-t/5}$.

900. Почему при пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, когда ток в роторе максимален, не развивается наибольший вращающий момент?

901. Ротор асинхронного двигателя выполнен в виде двойной беличьей клетки, причем стержни пусковой клетки изготовлены из латуни или бронзы. Чем определяется выбор этих материалов?

902. Каковы условия создания вращающегося магнитного поля двухфазного асинхронного двигателя, схема включения которого представлена на рис. 88, *б*?

903. Выражения для мгновенных значений магнитных потоков, создаваемых обмотками двухфазного асинхронного двигателя, имеют следующий вид: $\Phi_m \sin \omega t$ и $\Phi_m \sin (\omega t - \pi/2)$ Найти выражения для мгновенного и максимального значений магнитного потока вращающегося магнитного поля.

904. При работе трехфазного асинхронного двигателя произошел обрыв одной из фаз. Как изменится ток в неповрежденных фазах, если коэффициент мощности считать постоянным.

905. При номинальной нагрузке двигателя произошел обрыв одной фазы. Определить время срабатывания (с) защитного теплового реле, если зависимость этого времени от отношения тока двигателя к номинальному току имеет вид $t = 180/(I/I_н - 1)$. Коэффициент мощности считать постоянным.

906. Почему короткозамкнутые роторы асинхронных двигателей обычно изготовляют из алюминиевых стержней, а не из медных? Под действием каких физических сил могут произойти разрывы короткозамыкающих колец двигателя переменного тока?

907. После переключения обмоток многоскоростного асинхронного двигателя число пар полюсов увеличилось в 2 раза. Как изменяются при этом частота вращения магнитного поля и частота вращения ротора?

908. Составить принципиальную электрическую схему управления трехфазным асинхронным двигателем с помощью двух кнопок управления и магнитного пускателя.

909. Определить время запуска двигателя, если суммарный момент инерции масс, связанных с валом двигателя, $J = 0{,}065$ кг·м², установившаяся частота вращения $n_н = 1440$ об/мин, среднее за время пуска значение разности момента двигателя и момента сопротивления 10 Н·м.

910. При регулировании частоты вращения асинхронного двигателя было получено несколько механических характеристик (рис. 89). Каким способом регулировалась частота вращения?

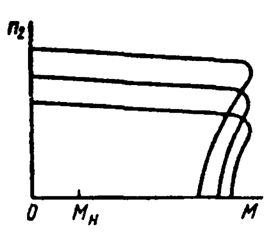


Рис. 89. К задаче 910

911. Какими способами изменяют скольжение при регулировании частоты вращения асинхронного двигателя? Начертить принципиальную электрическую схему регулирования частоты вращения асинхронного двигателя путем изменения сопротивления цепи ротора.

912. Одним из способов торможения асинхронных двигателей является динамическое торможение, простейшая схема которого показана на рис. 88, *в*. Почему при установке переключателя в положение *2* двигатель останавливается?

913. Начертить простейшую принципиальную электрическую схему реверсирования трехфазного асинхронного двигателя и пояснить принцип ее работы.

914. Определить мощность двигателя, необходимую для подъема груза массой 1000 кг со скоростью 6 м/мин, если кпд подъемного механизма 70%.

915. Двигатель токарного станка с кпд 95% и моментом на валу 95 Н·м потребляет от сети мощностью 10 кВт. Определить передаточные отношения коробки передач станка, чтобы можно было получить частоты его вращения 160, 240, 480 об/мин.

916. Определить число оборотов выходного вала редуктора с передаточным отношением $i=20$, которое он совершит после отключения двигателя, если начальная частота вращения двигателя $n_н=2480$ об/мин, момент инерции масс, связанных с валом двигателя, $J=0{,}05$ кг·м^2, среднее значение момента сопротивления на валу двигателя $M_c=7$ Н·м. Движение считать равнозамедленным.

917. Укажите, при каких неисправностях асинхронный двигатель с фазным ротором развивает пониженный вращающий момент и сильно гудит.

§ 28. Синхронные электрические машины

В синхронных машинах частота вращения ротора равна частоте вращающегося магнитного поля статора и определяется следующим выражением:

$$n=60f/p, \qquad (144)$$

где f — частота напряжения сети (для двигателя) или частота эдс (для генератора), Гц.

Действующее значение эдс, индуцируемой в одной фазе статора при холостом ходе, находится так:

$$E_x = 4{,}44 f w_1 k_{w1} \Phi_x, \quad (145)$$

где Φ_x — амплитудное значение магнитного потока, создаваемого обмоткой возбуждения ротора, Вб; w_1 — число витков одной фазы статора, включенных последовательно; k_{w1} — обмоточный коэффициент статора.

Мощность, отдаваемая трехфазным генератором при симметричной нагрузке, определяется из выражения

$$P_2 = P_{эм} - P_э = P_{эм} - 3R_1 I^2, \quad (146)$$

где $P_{эм}$ — электромагнитная мощность, Вт; $P_э$ — мощность электрических потерь в обмотке статора, Вт; R_1 — активное сопротивление обмотки фазы статора, Ом.

Вращающий момент (Н·м) генератора имеет вид

$$M = P_{эм}/\omega, \quad (147)$$

где ω — угловая частота вращения генератора, рад/с.

Кпд трехфазного генератора определяется по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} \cdot 100\%, \quad (148)$$

где P_1 — мощность, подводимая к генератору от двигателя, Вт; P_2 — полезная мощность, отдаваемая генератором, Вт; ΣP — суммарная мощность потерь, Вт.

Кпд синхронного двигателя находится так:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1}\ 100\%, \quad (149)$$

где P_1 — мощность, потребляемая двигателем от сети; P_2 — полезная мощность на валу двигателя; ΣP — суммарная мощность потерь в двигателе.

Синхронные электрические машины имеют следующие основные характеристики: а) внешнюю $U = f(I)$ при $I_в = \text{const}$ и $n = \text{const}$; б) регулировочную $I_в = f(I)$ при $n = \text{const}$ и $U = \text{const}$.

ЗАДАЧИ

918. Число пар полюсов синхронного генератора 4. Определить частоту вращения магнитного поля статора, если частота генерируемого тока 50 Гц.

919. Какое количество полюсов должно быть у синхронного генератора с частотой эдс 50 Гц, если ротор его вращается с частотой 500 об/мин?

920. Генератор переменного тока имеет 10 пар полюсов и его ротор вращается с частотой 1200 об/мин. Сколько раз в секунду ток меняет свое направление?

921. В энергосистеме работают турбогенераторы, имеющие 6 полюсов на фазу, и гидрогенераторы с 50 полюсами на фазу. С какой частотой вращаются роторы генераторов, если частота их эдс равна 50 Гц?

922. Какова окружная скорость ротора турбогенератора, если диаметр ротора 1,2 м, а частота его вращения 3000 об/мин?

923. Синхронные генераторы большой мощности имеют неподвижный якорь и вращающийся индуктор. Указать, в чем преимущество такой конструкции генераторов.

924. Почему при большой частоте вращения ротор синхронного генератора делают неявнополюсным, а при небольшой частоте — явнополюсным?

925. Найти эдс, индуцируемую в одной фазе статора генератора переменного тока при холостом ходе, если число последовательно включенных витков 24; обмоточный коэффициент 0,9; частота эдс 50 Гц, а магнитный поток 0,05 Вб.

926. При магнитном потоке 0,06 Вб линейная эдс статора при холостом ходе синхронного генератора равна 400 В. Какое число витков статора соединено последовательно, если его обмоточный коэффициент 0,92, частота эдс 50 Гц, а обмотки генератора соединены звездой?

927. Выбрать необходимое число витков обмотки шестиполюсного синхронного генератора, ротор которого вращается с частотой 1000 об/мин, чтобы эдс на его выводах была 200 В, если магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения ротора, равен 0,05 Вб, а обмоточный коэффициент статора 0,92.

928. Напряжение на выводах генератора равно 150 В, частота 50 Гц, но имеется также и высокочастотная составляющая амплитудой 15 В и частотой 250 Гц. Построить график мгновенного значения напряжения генератора на одном периоде основной частоты.

929. Изобразить осциллограмму токов (эдс) на выходе трехфазного генератора при обрыве второй фазы.

930. Найти полезную отдаваемую мощность синхронного генератора при симметричной нагрузке, если напряжение на выводах генератора 16,5 кВ, фазный ток 2000 А, коэффициент мощности нагрузки 0,94. Обмотки генератора соединены звездой.

931. Фазное напряжение синхронного генератора

6,3 кВ, а фазный ток 100 А. Определить полезную мощность P_2, отдаваемую генератором, если угол сдвига фаз между током и напряжением 20°.

932. Найти электромагнитную мощность синхронного генератора, который при симметричной нагрузке отдает полезную мощность 5 МВт, если фазный ток 300 А, а активное сопротивление обмотки фазы статора 0,1 Ом.

933. Мощность, потребляемая нагрузкой трехфазного синхронного генератора, составляет 180 МВт. Определить активное сопротивление обмотки фазы статора, если электромагнитная мощность, развиваемая генератором, 183 МВт, а фазный ток генератора 2000 А.

934. Во сколько раз увеличится мощность электрических потерь синхронного двигателя при замене медного обмоточного провода алюминиевым того же сечения и длины? Пояснить, почему такая замена не применяется на практике.

935. Определить момент на валу синхронного генератора, если мощность, отдаваемая нагрузке, составляет 50 МВт, частота вращения ротора 3000 об/мин, а мощность потерь в обмотке статора 400 кВт.

936. Рассчитать момент на валу: а) турбогенератора с электромагнитной мощностью 200 МВт и частотой вращения 3000 об/мин; б) гидрогенератора с электромагнитной мощностью 105 МВт и частотой вращения 120 об/мин; в) дизель-генератора с электромагнитной мощностью 50 кВт и частотой вращения 600 об/мин.

937. Эдс (В) и ток (А) обмотки фазы двухполюсного синхронного двигателя имеют мгновенные значения, соответствующие следующим выражениям: $e = 310\sin 314t$; $i = 85\sin 314t$. Найти вращающий момент двигателя.

938. Частота вращения синхронного генератора равна 3000 об/мин, а электромагнитная мощность — 5 МВт ± ± 10%. Определить вращающий момент генератора и диапазон его изменения.

939. Чему равен линейный ток включенных: а) звездой; б) треугольником обмоток синхронного двигателя, имеющего следующие параметры: полезная мощность на валу $P_2 = 20$ кВт; номинальное напряжение $U_н = 380/220$ В; кпд $\eta = 92\%$ и коэффициент мощности $\cos \varphi_н = 0,98\%$?

940. Рассчитать кпд синхронного генератора, если суммарная мощность потерь составляет 5% от полезной мощности, отдаваемой генератором.

941. Суммарная мощность потерь в синхронном дви-

гателе 2,7 кВт. Какую мощность потребляет двигатель от сети, если кпд равен 94%?

942. Синхронный двигатель, обмотки которого соединены звездой, имеет номинальный ток 170 А, номинальное напряжение 500 В и развивает мощность на валу 130 кВт. Определить мощность, потребляемую двигателем, и его коэффициент мощности, если кпд равен 92%?

943. При изменении полезной мощности, потребляемой нагрузкой синхронного генератора, на 10 кВт его кпд увеличился на 2%. Каковы первоначальные кпд и подводимая к генератору мощность, если суммарная мощность потерь в обоих случаях ≈5 кВт?

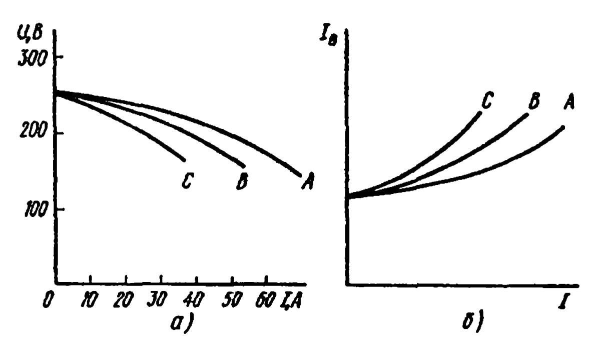


Рис. 90. *а*—к задачам 945, 946, *б*—к задаче 947

944. Электромагнитная мощность трехфазного синхронного генератора равна 60 кВт, а мощность, отдаваемая в нагрузку, при токе 50 А составляет 55 кВт. Найти активное сопротивление и эдс фазы статора.

945. В каком соотношении находятся коэффициенты мощности нагрузок трех видов (*A*, *B*, *C*), если внешние характеристики синхронного генератора, работающего при этих нагрузках, имеют вид, указанный на рис. 90, *а*?

946. Используя внешние характеристики синхронных генераторов, изображенные на рис. 90,*а*, указать, в каких пределах может меняться ток каждого из потребителей, если напряжение на выводах генератора должно быть не менее 220 В.

947. В каком соотношении находятся коэффициенты мощности потребителей (*A*, *B*, *C*) с индуктивно-активными сопротивлениями, при которых синхронный генератор имеет регулировочные характеристики, изображенные на рис. 90, *б*?

948. Определить допустимое напряжение на выводах

синхронного генератора при сбросе нагрузки, если номинальное напряжение генератора 230 В, а повышение напряжения при сбросе нагрузки должно быть не более 50%.

949. Напряжение на незаземленном корпусе синхронного двигателя равно 150 В относительно земли. Определить ток, протекающий через рабочего, коснувшегося незаземленного корпуса двигателя, если сопротивление его тела 50 кОм, а сопротивление изоляции между обмоткой и корпусом 10 кОм.

950. Идеализированная внешняя характеристика напряжения (В) синхронного генератора описывается

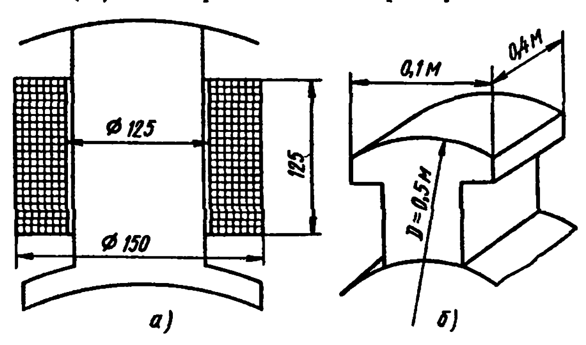


Рис. 91. *а*—к задаче 953; *б*—к задаче 954

выражением: $U = 240(1 - kI)$. Определить эдс генератора и напряжение на его выводах при токах 50, 75, 100 А, если коэффициент $k = 10^{-3}$ 1/А.

951. Имеются два одинаковых синхронных генератора. Первый из них имеет ток нагрузки, представленный кривой *1*, а второй — кривой *2* (см. рис. 31, *а*, *б*). Чем отличаются режимы работы этих генераторов?

952. В результате перегрузки маломощного синхронного генератора ток в его обмотке стал в два раза больше номинального. Определить время срабатывания защитного теплового реле, если зависимость этого времени (с) от отношения тока генератора к номинальному току имеет вид $t = 240/(I/I_н - 1)$.

953. Обмотка возбуждения одного из неподвижных полюсов синхронной электрической машины выполнена из медного провода Ø 2 мм и имеет размеры, указанные на рис. 91, *а*. Чему равно активное сопротивление обмотки, если коэффициент заполнения обмотки 0,7?

954. Полюсный наконечник ротора синхронного гене-

ратора изображен на рис. 91, *б*. Определить среднее значение магнитной индукции в воздушном зазоре генератора, если магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, равен 0,04 Вб.

955. Чем отличаются в слабых магнитных полях кривые намагничивания холоднокатаной и горячекатаной электротехнической стали, которая используется для изготовления статора и ротора электрических машин?

956. В электрических машинах переменного тока используются эмалевая, пленочная и волокнистая изоляции обмоток. Указать, в каком случае можно получить большую мощность при том же полезном объеме, занимаемом обмотками.

957. При торможении двигателя переменного тока частота вращения (об/мин) его вала уменьшилась по закону $n = 1000e^{-t/\tau}$. Определить частоту вращения в моменты времени $t = 1$, 2, 5 с, если постоянная времени $\tau = 1$ с. В какой момент времени частота вращения будет равна 500 об/мин?

958. Для чего во время асинхронного запуска синхронного двигателя его обмотка возбуждения замыкается на резистор R (рис. 92)?

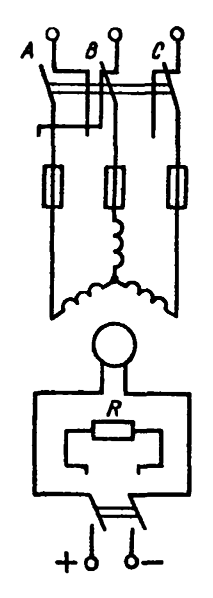


Рис. 92. К задачам 958, 959

959. Можно ли, применяя включение по схеме (рис. 92), осуществлять реверс синхронного двигателя? Объяснить принцип осуществления реверса.

960. Двигатель переменного тока связан с механизмом через редуктор с передаточным числом $i = 20$ и кпд $\eta = 80\%$. Определить вращающий момент на валу двигателя, если момент сопротивления механизма $M_c = 100$ Н·м.

961. Почему синхронный двигатель без дополнительной пусковой обмотки не развивает на валу пусковой момент?

962. Какими явлениями сопровождается: а) короткое замыкание между обмотками фаз статора генератора; б) заземление в двух местах обмотки статора?

963. При работе трехфазного синхронного генератора с исправной цепью возбуждения напряжение было только между двумя фазами. При каких неисправностях это может происходить, если обмотки генератора соединены: а) треугольником; б) звездой?

Глава VIII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

§ 29. Генераторы постоянного тока

Эдс генератора постоянного тока определяется следующим выражением:

$$E=\frac{pN}{60\ a}n\Phi=c_E n\Phi, \quad (150)$$

где N — число активных проводников обмотки якоря; a — число пар параллельных ветвей обмотки; p — число пар полюсов; n — частота вращения якоря, об/мин; Φ — магнитный поток одного полюса; Вб; c_E — постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных данных генератора.

Расчет характеристик машин постоянного тока основывается на магнитной характеристике, которая представляет собой зависимость полезного магнитного потока от намагничивающей силы обмотки возбуждения в режиме холостого хода. В приложении 7 приведена универсальная магнитная характеристика машин постоянного тока типа ПН и МП.

Независимо от способа возбуждения для генератора постоянного тока:

напряжение на выводах генератора

$$U=E-I_я R_я; \quad (151)$$

полезная (отдаваемая) мощность

$$P_2=UI; \quad (152)$$

электромагнитная мощность

$$P_{эм}=EI_я; \quad (153)$$

кпд генератора

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}\cdot 100\%=\frac{P_2}{P_2+\Sigma P}\cdot 100\%, \quad (154)$$

где $I_я$ — ток якоря, А; $R_я$ — сопротивление цепи якоря, приведенное к рабочей температуре обмоток $T=348$ К,Ом; P_1 — мощность, подводимая к генератору, Вт; I — ток нагрузки (или внешней цепи), А; ΣP — суммарная мощность потерь, Вт.

При независимом и параллельном возбуждении генераторов сопротивление цепи якоря $R_я$ соответствует сопротивлению его обмотки $R_{о.я}$, а при смешанном

возбуждении равно сумме сопротивлений обмотки якоря $R_{оя}$ и обмотки возбуждения $R_{ов}$.

К основным характеристикам генераторов постоянного тока относятся: характеристика холостого хода $E=f(I_в)$ при $n=\text{const}$ и $I=0$; внешняя характеристика $U=f(I_я)$ при $n=\text{const}$ и $I_в=\text{const}$ (для независимого возбуждения) или $R_в=\text{const}$ (при самовозбуждении); регулировочная характеристика $I_в=f(I_я)$ при $U=\text{const}$ и $n=\text{const}$.

ЗАДАЧИ

964. Определить эдс четырехполюсного генератора постоянного тока, если якорь вращается с частотой 1500 об/мин, магнитный поток полюса 10^{-2} Вб, а отношение числа активных проводников обмотки якоря к числу пар параллельных ее ветвей равно 450.

965. Найти эдс генератора при частоте вращения якоря 750, 1000, 1500 об/мин, если магнитный поток одного полюса $1{,}1\cdot10^{-2}$ Вб, а постоянный коэффициент $c_E=10$.

966. При частоте вращения якоря 1000 об/мин эдс была равна 120 В. Найти постоянный коэффициент c_E, если магнитный поток полюса 10^{-2} Вб.

967. Эдс восьмиполюсного генератора постоянного тока равна 230 В. Какова частота вращения якоря, если магнитный поток полюса $1{,}85\cdot10^{-2}$ Вб, а отношение числа активных проводников обмотки якоря к числу пар параллельных ее ветвей $N/a=250$?

968. Генератор постоянного тока типа ПН имеет следующие параметры: $E_н=250$ В, $c_E=10$, $n_н=1500$ об/мин, $I_{вн}=5$ А. Определить магнитный поток и эдс генератора при токах возбуждения $I_в=0$, 2, 3 и 6 А.

969. Составить принципиальную электрическую схему простейшей системы генератор — двигатель и пояснить принцип ее действия.

970. При увеличении частоты вращения генератора постоянного тока в 1,5 раза эдс возросла на 110 В. Вычислить первоначальную эдс при неизменном магнитном потоке.

971. Два генератора параллельного возбуждения с номинальной мощностью $P_{нI}=P_{нII}=45$ кВт работают параллельно на нагрузку 80 кВт. Определить токи генераторов, если напряжение сети 230 В, а сопротивление якорных

цепей 0,1 и 0,07 Ом. Ток нагрузки распределяется между генераторами обратно пропорционально сопротивлениям якорных цепей.

972. Вычислить эдс генератора постоянного тока в моменты времени $t=0{,}1$; 0,5; 2 с, если при разгоне его ротора эдс (В) меняется по закону $e=220(1-e^{-2t})$.

973. Определить частоту вращения ротора генератора постоянного тока независимого возбуждения (рис. 93, *а*), если постоянный коэффициент $c_E=11$, магнитный поток

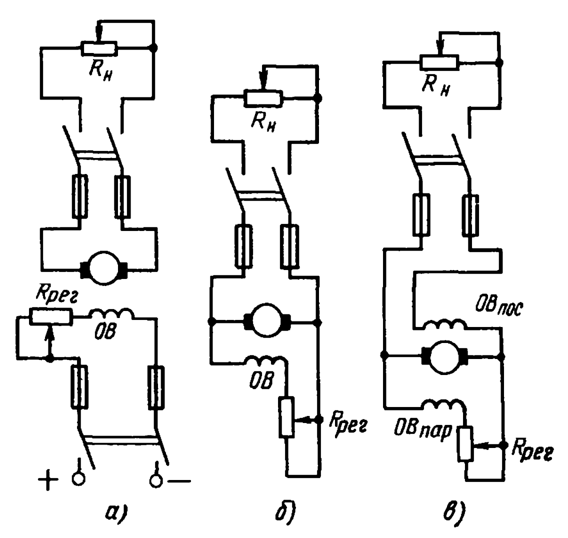


Рис 93 *а*—к задачам 973, 982, *б*—к задачам 974, 975, 990, 1002, 1007, *в*—к задачам 977, 980, 1007

одного полюса 10^{-2} Вб, напряжение на выводах генератора 110 В при сопротивлении нагрузки 20 Ом и сопротивлении цепи якоря 1 Ом.

974. Найти ток возбуждения генератора параллельного возбуждения (рис. 93, *б*), если напряжение на выводах генератора 120 В, а сопротивление цепи возбуждения 20 Ом. Чему равен ток якоря, если ток нагрузки 180 А?

975. В генераторе параллельного возбуждения ток обмотки возбуждения равен 6 А. Рассчитать напряжение на выводах генератора, если сопротивление обмотки возбуждения 10 Ом, а сопротивление регулировочного резистора $R_{рег}=27$ Ом (рис. 93, *б*).

976. Выбрать минимальное сопротивление нагрузки, для которого ток якоря генератора независимого возбуж-

дения не превышает 40 А при эдс 240 В и сопротивлении цепи якоря 0,5 Ом.

977. Определить сопротивление якоря, если эдс генератора смешанного возбуждения (рис. 93, *в*) равна 230 В, ток якоря 48 А, а сопротивление нагрузки 4,5 Ом. Током обмотки возбуждения пренебречь.

978. Найти напряжение на выводах генератора постоянного тока независимого возбуждения, если его эдс 240 В, ток якоря 10, 20 и 50 А, а сопротивление цепи якоря 0,5 Ом. При каких соотношениях сопротивления нагрузки и сопротивления цепи якоря напряжение на выводах генератора будет составлять 230, 220 и 210 В?

979. Напряжение на выводах генератора постоянного тока должно меняться в пределах 100 В $> U >$ 50 В, а ток якоря — в диапазоне 40 А $> I >$ 10 А. Определить диапазон изменения эдс генератора, если сопротивление цепи якоря 1 Ом, а внешняя характеристика линейна в указанных диапазонах.

980. Каково напряжение на нагрузке сопротивлением $R_н = 150$ Ом, подключенной к генератору смешанного возбуждения (рис. 93, *в*), который вращается с частотой 1500 об/мин, если сопротивление последовательной обмотки возбуждения 4 Ом, а сопротивление обмотки якоря 0,5 Ом? Магнитный поток одного полюса $2 \cdot 10^{-2}$ Вб, постоянный коэффициент $c_E = 8$.

981. Генератор постоянного тока используется в качестве тахогенератора, т. е. для измерения частоты вращения. Каким напряжениям будут соответствовать частоты вращения 100, 200 и 500 об/мин, если магнитный поток одного полюса $2 \cdot 10^{-2}$ Вб, постоянный коэффициент $c_E = 15$? Выводы генератора подключены к вольтметру, внутреннее сопротивление которого много больше сопротивления якоря.

982. Определить ток якоря и напряжение генератора независимого возбуждения (рис. 93, *а*) при токе возбуждения 0,2 А, если сопротивление цепи якоря 0,5 Ом, сопротивление нагрузки 12 Ом. Для решения воспользоваться идеализированной характеристикой холостого хода генератора (рис. 94, *а*).

983. Генератор постоянного тока типа ПН имеет следующие параметры: $c_E = 10$; $n_н = 1500$ об/мин; $\Phi_н = 0{,}016$ Вб и $I_{в\,н} = 5$ А. Построить характеристику холостого хода генератора в диапазоне изменения тока возбуждения от 0 до 6 А?

984. Генератор постоянного тока независимого возбуждения, сопротивление цепи якоря которого составляет 1 Ом, имеет напряжение на выводах при холостом ходе 110 В. Построить внешнюю характеристику генератора в диапазоне изменения тока нагрузки от 0 до 10 А.

985. Найти ток якоря генератора независимого возбуждения с сопротивлением цепи якоря 1 Ом и напряжением холостого хода 230 В, если сопротивление нагрузки 10, 20 и 50 Ом. Построить внешнюю характеристику генератора при изменении режима от холостого хода до нагрузки сопротивлением 10 Ом.

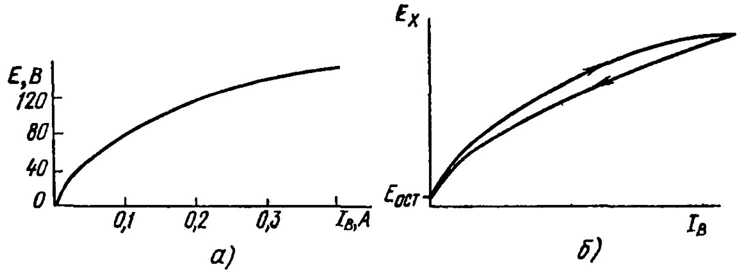


Рис. 94 *а*—к задачам 982, 997, 998, 1000; *б*—к задаче 999

986. При увеличении сопротивления нагрузки в 2 раза ток якоря генератора постоянного тока смешанного возбуждения уменьшился на 10 А. Определить исходный ток якоря, если сопротивление последовательной цепи якоря $R_я = 0{,}05 R_н$.

987. Ток якоря генератора постоянного тока равен 10 А$\pm$1%, а сопротивление цепи якоря 0,5 Ом$\pm$2%. Найти напряжение на выводах генератора и относительную погрешность его определения, если эдс генератора 120 В.

988. Генератор параллельного возбуждения типа ПН имеет следующие данные: $U_н = 230$ В; $I_{я\,н.} = 780$ А; $I_{в\,н} = 4{,}5$ А и $R_я = 0{,}018$ Ом. Построить внешнюю характеристику генератора в режимах от холостого хода до короткого замыкания.

989. При измерении токов в двух генераторах постоянного тока было получено, что: а) ток якоря равен току нагрузки; б) ток якоря равен сумме тока нагрузки и тока возбуждения. Какие способы возбуждения имеют оба генератора?

990. Как влияет увеличение сопротивления регулировочного резистора $R_{рег}$ (см. рис. 93, *б*) генератора па-

раллельного возбуждения: а) на ток возбуждения; б) на ток якоря (при постоянной нагрузке)?

991. Как при уменьшении сопротивления нагрузки изменится выходное напряжение генератора постоянного тока: а) смешанного; б) параллельного возбуждения?

992. Найти суммарную мощность, потребляемую цепью якоря, обмоткой возбуждения и нагрузкой генератора параллельного возбуждения, если эдс 130 В, ток возбуждения 3 А, а ток нагрузки 80 А.

993. Полезная мощность генератора равна 5 кВт, мощность потерь в обмотке якоря — 100 Вт. Чему равен ток якоря, если эдс 120 В?

994. Найти полезную мощность генератора смешанного возбуждения с током нагрузки 50 А, если напряжение на его выводах 110 В.

995. Каково сопротивление цепи якоря генератора смешанного возбуждения, если ток якоря 25 А, полезная мощность 10 кВт, электромагнитная мощность 11 кВт, а мощность потерь в цепи возбуждения составляет 0,5 кВт?

996. При полезной мощности генератора постоянного тока, равной 10 кВт, его кпд составлял 90%. Определить суммарную мощность потерь в генераторе.

997. Показать на рис. 94, *а*, как изменится вид идеализированной характеристики холостого хода генератора независимого возбуждения, если частота вращения увеличится.

998. Указать на характеристике холостого хода генератора постоянного тока (рис. 94, *а*) диапазоны изменения тока возбуждения, соответствующие магнитному насыщению генератора.

999. На рис. 94, *б* показана характеристика холостого хода генератора постоянного тока. Объяснить: а) физический смысл остаточной эдс $E_{ост}$; б) ход кривых при увеличении и снижении тока возбуждения. Как изменится график, если полюсы генератора будут изготовлены из материала с большей относительной магнитной проницаемостью μ?

1000. Генератор постоянного тока имеет характеристику холостого хода, изображенную на рис. 94, *а*. Построить регулировочную характеристику генератора $I_в = f(I_я)$ при напряжении на выводах 110 В, если сопротивление цепи якоря 1 Ом. Диапазон изменения тока якоря выбрать от 0 до 30 А.

1001. Генератор независимого возбуждения типа ПН имеет следующие данные: $I_{я\,н} = 780$ А, $I_{в\,н} = 4{,}5$ А и $R_я = 0{,}018$ Ом. Построить регулировочную характеристику генератора при напряжении $U = U_н = 230$ В. Реакцией якоря пренебречь.

1002. Как изменится внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения (рис. 95, *а*) при увеличении сопротивления регулировочного резистора $R_{рег}$ (см. рис. 93, *б*)?

1003. Каким образом включены параллельная и последовательная обмотки возбуждения генератора смешанного возбуждения, если внешняя характеристика генератора имеет вид, изображенный на рис. 95, *б*?

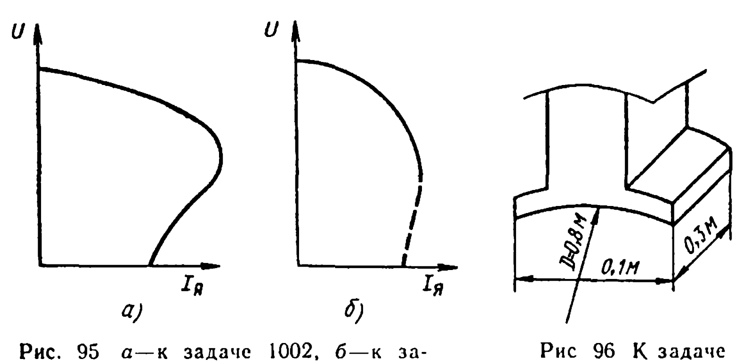


Рис. 95 *а*—к задаче 1002, *б*—к задаче 1003

Рис 96 К задаче 1005

1004. Для изоляции обмотки статора генератора постоянного тока был выбран материал с электрической прочностью 40 кВ/мм. Найти толщину изоляции, если она должна выдержать напряжение не менее 10 кВ.

1005. Полюсный наконечник статора генератора постоянного тока изображен на рис. 96. Определить магнитный поток в воздушном зазоре генератора, если среднее значение индукции магнитного поля, создаваемого обмоткой статора, равно 1,2 Тл.

1006. Во время разгона якоря генератора постоянного тока напряжение (В) на его выводах менялось по закону $u = 220\,(1 - e^{-t/\tau})$. Определить напряжение на выводах в начале и в конце разгона.

1007. Чем отличаются пусковые режимы генераторов постоянного тока параллельного (см. рис. 93, *б*) и смешанного (см. рис. 93, *в*) возбуждения при отсутствии нагрузки?

1008. Почему статор генератора переменного тока собирается из отдельных стальных листов, а статор генератора постоянного тока представляет собой массивную стальную отливку?

1009. По каким признакам можно определить, размагнитился или перемагнитился (т. е. намагнитился в другом направлении) генератор постоянного тока параллельного возбуждения?

1010. Чем может быть вызвано повышенное напряжение при холостом ходе и при нагрузке у генератора постоянного тока, если неисправностей в нем не обнаружено?

§ 30. Двигатели постоянного тока

Эдс, индуцируемая в обмотке якоря при вращении двигателя, находится по выражению (150).

Независимо от способа включения обмотки возбуждения для двигателя постоянного тока можно записать:

напряжение на выводах двигателя

$$U = E + I_я R_я; \qquad (155)$$

мощность, подводимая к двигателю,

$$P_1 = UI; \qquad (156)$$

электромагнитная мощность

$$P_{эм} = EI_я; \qquad (157)$$

полезная мощность на валу

$$P_2 = \frac{2\pi}{60} Mn; \qquad (158)$$

кпд двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \cdot 100\%, \qquad (159)$$

где $I_я$ — ток якоря; I — ток двигателя; $R_я$ — сопротивление обмотки якоря, приведенное к рабочей температуре обмоток $T = 348$ К; ΣP — суммарная мощность потерь.

Вращающий (электромагнитный) момент двигателя (Н·м) определяется так:

$$M = \frac{pN}{2\pi a} I_я \Phi = c_M I_я \Phi, \qquad (160)$$

где c_M — постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных данных двигателя; Φ — магнитный поток полюса, Вб.

К основным характеристикам двигателей постоянного тока относятся: рабочие M, n, I, η, $P_1 = f(P_2)$, или $f(I_я)$, при $I_в = \text{const}$ и $U = \text{const}$; механическая $n = f(M)$

при $U=\text{const}$ и $I_в=\text{const}$ и регулировочная $n=f(I_в)$ при $U=\text{const}$ и $I_я=\text{const}$.

Существует три способа торможения двигателей постоянного тока: 1) рекуперативное (с возвратом энергии в сеть); 2) динамическое; 3) противовключение.

ЗАДАЧИ

1011. Найти эдс, индуцируемую в якоре двигателя постоянного тока, если при частоте вращения двигателя 1500 об/мин магнитный поток полюса не превышает $1{,}7\cdot 10^{-2}$ Вб, а постоянный коэффициент $c_E=9$.

1012. Двигатель постоянного тока вращается с частотой 1500 об/мин, магнитный поток полюса 10^{-2} Вб. Сколько полюсов у двигателя, если отношение числа

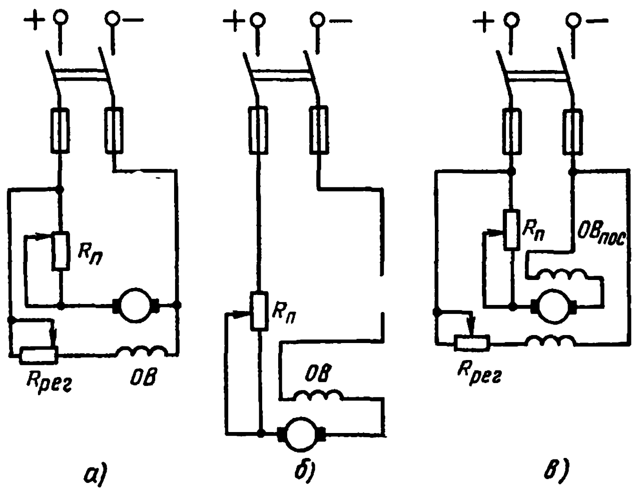


Рис. 97. *а*—к задачам 1013, 1017, 1020, 1042, 1045; *б*—к задачам 1017, 1019, 1046; *в*—к задачам 1017, 1047

активных проводников обмотки якоря к числу пар ее параллельных ветвей равно 440. Эдс двигателя 220 В.

1013. Каким должно быть сопротивление регулировочного резистора $R_{рег}$ двигателя параллельного возбуждения (рис. 97, *а*), чтобы ток возбуждения не превышал 2 А, если напряжение, подводимое к двигателю, 220 В, а сопротивление обмотки возбуждения 50 Ом?

1014. Генератор постоянного тока с номинальным током якоря 65 А и сопротивлением цепи якоря 0,2 Ом предполагается использовать как двигатель. Определить час-

тоту вращения машины, если в генераторном режиме частота вращения 1500 об/мин, номинальное напряжение 220 В. Магнитный поток в обоих случаях одинаков.

1015. При возрастании частоты вращения двигателя постоянного тока в 1,5 раза эдс увеличилась на 60 В. Найти первоначальную эдс, считая неизменным магнитный поток.

1016. Вычислить сопротивление якоря двигателя постоянного тока, если при токе якоря 100 А частота вращения равна 1000 об/мин, а при токе якоря 80 А — 1020 об/мин. Номинальное напряжение двигателя 440 В.

1017. В цепях (рис. 97, *а б, в*) изменилась полярность напряжения источников питания. Указать, изменится ли направление вращения роторов двигателей.

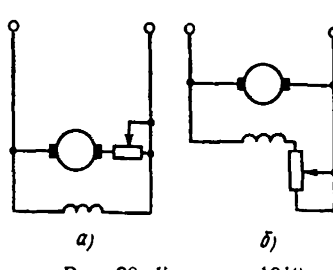


Рис. 98. К задаче 1018

1018. Как изменится установившийся ток якоря двигателя постоянного тока, если подвижный контакт регулировочного резистора передвинуть: а) влево (рис. 98, *а*); б) вниз (рис. 98, *б*)? Вращающий момент на валу двигателя считать неизменным.

1019. Напряжение, подводимое к двигателю последовательного возбуждения (см. рис. 97, *б*), составляет 220 В. Чему равна подводимая мощность, если ток якоря равен 25 А?

1020. Напряжение, подводимое к двигателю параллельного возбуждения (см. рис. 97, *а*), составляет 220 В. Чему равна подводимая мощность, если ток якоря 25 А, а сопротивление обмотки возбуждения 80 Ом?

1021. Определить мощность потерь в якоре двигателя постоянного тока с сопротивлением 2 Ом, если напряжение на его выводах 450 В, а эдс, индуцируемая в обмотке, составляет 440 В.

1022. Ток в цепи якоря двигателя последовательного возбуждения 20 А. Найти индуцируемую эдс, электромагнитную мощность и мощность, подводимую к двигателю, если сопротивление обмотки якоря 0,5 Ом, сопротивление цепи возбуждения 1,5 Ом, а напряжение на выводах двигателя 440 В.

1023. Двигатель параллельного возбуждения присое-

динен к сети напряжением 110 В. Чему равны пусковой ток и мощность, подводимая к двигателю, если сопротивление обмотки якоря 10 Ом, а пусковой ток в 4 раза больше номинального?

1024. С каким кпд работает двигатель последовательного возбуждения, включенный в сеть напряжением 220 В, если полезная мощность на его валу 4,2 кВт, а ток якоря равен 21 А?

1025. В каких пределах изменяется кпд двигателя постоянного тока, если при изменении полезной мощности от 2 до 3 кВт мощность потерь изменяется от 0,25 до 0,3 кВт.

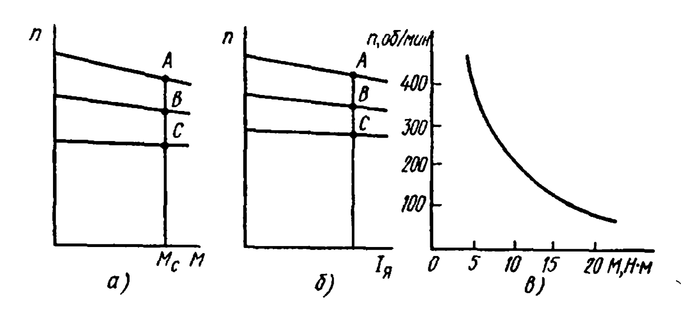


Рис. 99. *а*—к задаче 1029; *б*—к задаче 1030, *в*—к задаче 1031

1026. Суммарная мощность потерь двигателя 1 кВт$\pm$10%. Найти кпд двигателя и относительную погрешность его определения, если мощность, подводимая к двигателю, составляет 10 кВт.

1027. При конструировании двигателя постоянного тока постоянный коэффициент $c_м$ выбирался в диапазоне 140$\div$150. Магнитная цепь позволяла получить магнитный поток в пределах от 10^{-2} до $1{,}2\cdot10^{-2}$ Вб. В каком диапазоне будет находиться вращающий момент двигателя при токе якоря 20 А?

1028. Скорость изменения вращающего момента двигателя постоянного тока не превышает 100 Н·м/с. Чему равна максимальная скорость изменения тока якоря двигателя, если магнитный поток равен 10^{-2} Вб, а постоянный коэффициент $c_м=100$?

1029. На рис. 99, *а* приведены механические характеристики $n=f(M)$ двигателя постоянного тока параллельного возбуждения для различных значений тока возбуждения. В каком соотношении находятся токи в

обмотке якоря при работе двигателя в режимах, соответствующих точкам A, B и C?

1030. На рис. 99,*б* приведены рабочие характеристики $n=f(I_я)$ двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при различных значениях токов возбуждения. В каком соотношении находятся вращающие моменты, развиваемые двигателем при одинаковом токе якоря в режимах, соответствующих точкам A, B и C?

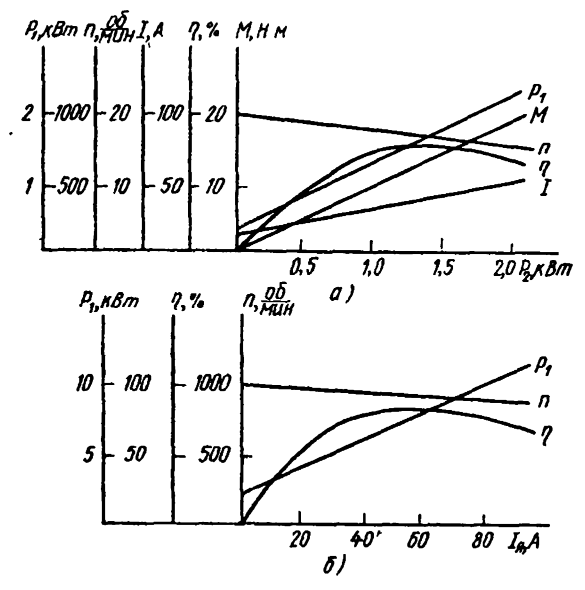


Рис 100 *а* — к задаче 1032; *б* — к задаче 1033

1031. По графику механической характеристики двигателя последовательного возбуждения (рис. 99, *в*) объяснить, почему эти двигатели нельзя включать с нагрузками меньше 20—25% номинальной.

1032. На рис. 100, *а* приведены рабочие характеристики двигателя постоянного тока. Определить значения параметров η, M, n, I; P_1 на валу двигателя мощностью $P_2=0{,}5$; 1; 1,8 кВт.

1033. На рис. 100, *б* приведены рабочие характеристики двигателя постоянного тока $\eta=f_1(I_я)$, $n=f_2(I_я)$ и $P_1=f_3(I_я)$. Построить рабочую характеристику вращающего момента двигателя $M=f_4(I_я)$.

1034. Двигатель последовательного возбуждения типа МП имеет следующие данные: $U_н=220$ В, $I_н=600$ А,

$R_я = 0{,}05$ Ом, $n_н = 600$ об/мин. Построить рабочие характеристики $n(I)$ и $M(I)$ при изменении тока от 100 до 900 А. Реакцией якоря пренебречь.

1035. Двигатель параллельного возбуждения типа МП имеет следующие данные: $U_н = 220$ В, $I_{я\,н} = 600$ А, $I_{в\,н} = 5$ А, $R_я = 0{,}05$ Ом и $n_н = 600$ об/мин. Построить регулировочную характеристику в диапазоне изменения тока от 1 до 8 А.

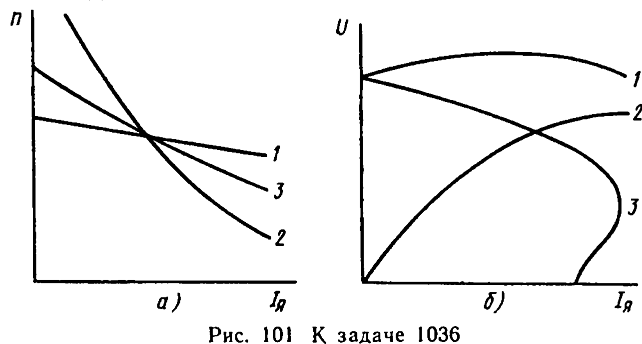


Рис. 101 К задаче 1036

1036. На рис. 101, *а* приведены механические характеристики двигателей, а на рис. 101, *б* — внешние характеристики генераторов постоянного тока. Какие из указанных характеристик соответствуют двигателям и генераторам последовательного, параллельного и смешанного возбуждения?

1037. Двигатель постоянного тока имеет номинальные мощность, напряжение и ток, соответственно равные: $P_н = 50$ кВт; $U_н = 440$ В; $I_н = 125$ А. Определить сопротивление цепи якоря и максимальное сопротивление пускового переменного резистора, если ток якоря при пуске не превосходит $2{,}3I_н$, а мощность потерь в обмотке якоря составляет половину суммарной мощности потерь в двигателе.

1038. Найти сопротивление обмотки якоря двигателя параллельного возбуждения в момент пуска, если наибольшее сопротивление пускового переменного резистора 5 Ом и ток в момент пуска при напряжении сети 110 В был 20 А.

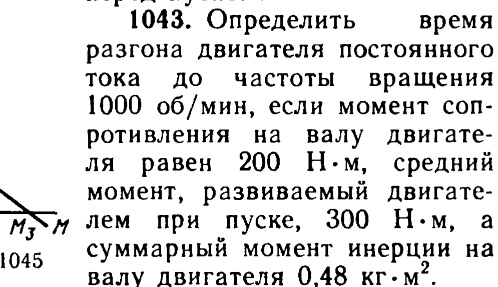
1039. Определить сопротивление пускового переменного резистора для двигателя параллельного возбуждения, если пусковой ток в 2 раза больше номинального тока якоря, а сопротивление обмотки якоря 1 Ом. Двигатель рассчитан на напряжение 220 В и ток якоря 20 А.

1040. Построить механическую характеристику двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, если известны его номинальные параметры: $P_н=70$ кВт; $n_н=950$ об/мин; $U_н=440$ В; $I_{я\,н}=180$ А; $R_я=0{,}135$ Ом.

1041. Механическая характеристика двигателя постоянного тока (об/мин) определяется выражением $n=$ $=3150-kM$. Найти частоту вращения двигателя при моментах 0,8; 1,2; 1,5 $M_н$, если мощность $P_н=4{,}5$ кВт, частота вращения $n_н=3000$ об/мин.

1042. Объяснить, как осуществляется запуск двигателя параллельного возбуждения (см. рис. 97, *а*). Правильно ли установлены подвижные контакты регулировочного $R_{рег}$ и пускового $R_п$ резисторов перед пуском?

1043. Определить время разгона двигателя постоянного тока до частоты вращения 1000 об/мин, если момент сопротивления на валу двигателя равен 200 Н·м, средний момент, развиваемый двигателем при пуске, 300 Н·м, а суммарный момент инерции на валу двигателя 0,48 кг·м^2.



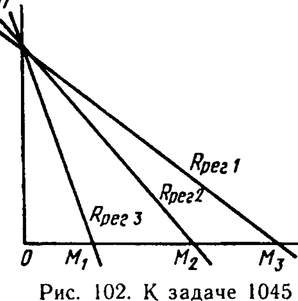


Рис. 102. К задаче 1045

1044. В каком режиме будет работать двигатель параллельного возбуждения, если частота вращения якоря (под действием внешних усилий) окажется больше частоты его вращения при идеальном холостом ходе?

1045. На рис. 102 приведены искусственные механические характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения для различных сопротивлений $R_{рег}$ регулировочного резистора (см. рис. 97, *а*). Указать, в каком соотношении находятся сопротивления $R_{рег\,1}$, $R_{рег\,2}$ и $R_{рег\,3}$ резистора.

1046. Для динамического торможения двигателя последовательного возбуждения необходимо переключить цепь питания на тормозной резистор и поменять местами выводы обмотки возбуждения. Используя схему на рис. 97, *б*, составить электрическую схему динамического торможения двигателя последовательного возбуждения.

1047. Указать, как необходимо подключить переменный резистор и два переключателя к двигателю постоянного тока смешанного возбуждения (см. рис. 97, *в*), чтобы можно было осуществить его динамическое торможение.

1048. В начале работы ток обмотки возбуждения двигателя постоянного тока, выполненной из медного провода, был 1,2 А, а после нагрева стал 1 А. Определить температуру обмотки, если температура среды 293 К.

1049. Каково среднее значение момента динамического торможения, если двигатель постоянного тока параллельного возбуждения остановился через 0,1 с? Начальная частота вращения 1000 об/мин, момент сопротивления на валу двигателя 100 Н·м, суммарный момент инерции на валу двигателя 0,5 кг·м^2.

1050. Объяснить, с какими магнитными свойствами должны быть выбраны материалы дополнительных полюсов генераторов и двигателей постоянного тока.

1051. В цепь питания двигателя постоянного тока были установлены плавкие предохранители, рассчитанные на ток, равный 40% пускового тока. Номинальный ток двигателя $I_н = 5$ А, а пусковой ток $I_{пуск} = 5\ I_н$. На какой ток должен быть рассчитан предохранитель и будет ли он защищать провода от длительных перегрузок?

1052. Определить частоту вращения при идеальном холостом ходе двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и сопротивление пускового переменного резистора, если наибольший пусковой ток не должен превышать двукратного номинального тока. Двигатель имеет следующие номинальные параметры: $U_н = 220$ В; $I_н = 83$ А; $n_н = 770$ об/мин; $R_я = 0,24$ Ом.

1053. По каким причинам при включении в сеть двигатель постоянного тока может не запуститься?

1054. При эксплуатации электрическая машина постоянного тока искрит при частичной нагрузке, причем по мере возрастания нагрузки искрение увеличивается и в отдельных случаях становится недопустимым. Пояснить, какими причинами может быть вызвано указанное явление, если при работе в режиме холостого хода искрение не наблюдается.

1055. При работе электрической машины постоянного тока произошло межвитковое соединение (или короткое замыкание) в обмотке якоря. Указать, по каким признакам можно судить об этой неисправности при работе: а) двигателя, б) генератора.

Глава IX
ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

§ 31. Электронные приборы

Явление испускания электронов с поверхности вещества носит название эмиссии. В зависимости от причин, ее вызывающих, эмиссия бывает термоэлектронной, фотоэлектронной и электростатической.

Плотность тока эмиссии с единицы площади нагретой поверхности (А/м^2) зависит от температуры:

$$j = k_A T^2 \exp(-B_э / T), \qquad (161)$$

где k_A — постоянный коэффициент, А/(К^2·м^2); $B_э$ — постоянный коэффициент, К; T — температура нагретой поверхности, К.

Простейшим электронным прибором является двухэлектродная лампа — диод. Основная статическая характеристика диода — вольт-амперная, которую принято называть анодной. Параметры диода определяются из следующего выражения:

$$R_i = 1/s_i = \Delta U_а / \Delta I_а, \qquad (162)$$

где $\Delta U_а$ и $\Delta I_а$ — изменение анодных напряжения и тока; R_i — внутреннее сопротивление, Ом; s_i — крутизна вольт-амперной характеристики, А/В.

Анодный ток трехэлектродной лампы — триода — определяется анодным и сеточным напряжениями. Поэтому работу лампы описывают двумя статическими характеристиками: анодной $I_а = f(U_а)$ и анодно-сеточной $I_а = f(U_g)$. Для характеристики триодов помимо параметров R_i и s_i вводится еще два параметра:

$$k_\mu = -\frac{\Delta U_а}{\Delta U_g} \text{ при } I_а = \text{const}; \quad s_а = \frac{\Delta I_а}{\Delta U_g} \text{ при } U_а = \text{const}; \qquad (163)$$

где k_μ — статический коэффициент усиления, который показывает, во сколько раз приращение потенциала сетки ΔU_g сильнее воздействует на анодный ток по сравнению с приращением потенциала анода $\Delta U_а$; $s_а$ — крутизна анодно-сеточной характеристики, А/В.

Между параметрами $s_а$, R_i и k_μ существует следующая связь:

$$s_а R_i = k_\mu. \qquad (164)$$

Наряду с триодами в электронных устройствах широко используются четырех- и пятиэлектродные лампы (тетроды и пентоды), которые также характеризуются параметрами k_μ, $s_а$, R_i и s_i.

Широкое распространение получили в электронике электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), которые являются основным конструктивным элементом осциллографов, телевизоров и других устройств.

ЗАДАЧИ

1056. Найти плотность тока эмиссии с единицы площади нагретой поверхности при температурах 1073; 1173; 1273 К, если постоянные коэффициенты $k_а=0{,}8$А/(К^2·мм^2), $B_э=25\,000$ К.

1057. Плотность тока эмиссии катода прямого накала при температуре 973 К была равна 0,3 мА/м^2. Какой будет плотность тока эмиссии при температурах 873, 1073, 1373 К, если постоянный коэффициент $B_э=35\,000$ К?

1058. Экспериментально было установлено, что при температуре 1173 К плотность тока эмиссии равна 0,6 мА/мм^2, а при 1273 К — 4 мА/мм^2. Найти постоянные коэффициенты $k_А$ и $B_э$.

1059. Анодное напряжение составляет 250 В. Определить, с какой скоростью электроны достигнут анода. За какое время электрон преодолеет межанодное расстояние 2,5 см?

1060. Определить силу, действующую на электрон, движущийся в магнитном поле с индукцией 1,6 Тл со скоростью $2\cdot10^6$ м/с и под углом 30° к силовым линиям поля.

1061. Определить крутизну вольт-амперной характеристики диода, если: 1) при изменении анодного напряжения на 10 В анодный ток изменился на 20 мА; 2) внутреннее сопротивление диода 500 Ом.

1062. Напряжение накала лампы 6,3 В, ток цепи накала 0,5 А. Найти сопротивление цепи накала и выделяемую в ней мощность.

1063. При анодном напряжении кенотрона 60 В анодный ток равен 120 мА. Определить анодный ток при анодном напряжении 80 В, если крутизна анодной характеристики на участке изменения анодного напряжения от 60 до 80 В составляет 5 мА/В.

1064. Чему равно минимальное сопротивление нагрузки электровакуумной лампы с внутренним сопротивлением

0 Ом, если допустимый ток 0,1 А, а мощность, потребляемая в анодной цепи лампы, равна 10 Вт?

1065. Анодное напряжение лампы равно 500 В при токе 10 мА. В цепи питания катода прямого подогрева включен источник с напряжением накала 6 В, а сопротивление катода 10 Ом. Какое количество теплоты выделяется ежесекундно на аноде и катоде?

1066. Вольт-амперная характеристика лампы подчиняется закону «трех вторых», т. е. описывается зависимостью $I_a = kU_a^{3/2}$. Для анодного напряжения $U_a = 100$ В ток этой лампы был равен 1 А. Чему равен ток лампы при напряжениях $U_a = 50$, 120, 150 В? Построить анодную характеристику лампы.

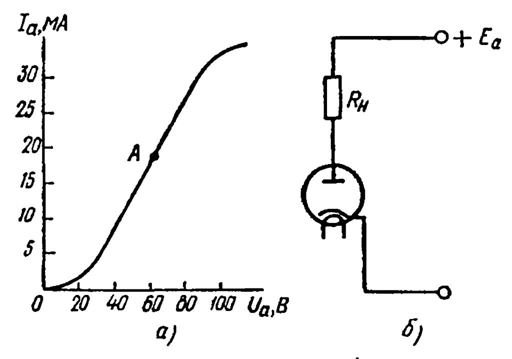


Рис. 103. *а*—к задачам 1068, 1070, 1083, 1196; *б*—к задаче 1070

1067. Найти зависимость внутреннего сопротивления и крутизны вольт-амперной характеристики лампы от анодного напряжения, если она подчиняется закону «трех вторых». Определить, чему равно отношение дифференциального сопротивления к статическому.

1068. На рис. 103,*а* приведена экспериментальная анодная характеристика электровакуумного диода. Найти внутреннее сопротивление и крутизну характеристики лампы при анодном напряжении 60 В.

1069. При одинаковом изменении анодного напряжения двух электровакуумных диодов анодный ток одного из них изменился на 80 мА, а другого — на 100 мА. Во сколько раз крутизна вольт-амперной характеристики второй лампы больше, чем первой?

1070. На рис. 103,*б* представлена схема включения диода, причем $E_a = 120$ В. Определить напряжение

на аноде и ток лампы при сопротивлении нагрузки $R_н = 12$, 6, 4 кОм на основании анодной характеристики, приведенной на рис. 103,*а*.

1071. В устройстве был использован некондиционный электронный диод, у которого в баллоне имеется утечка. Объяснить, что произойдет в лампе при включении ее в рабочий режим.

1072. Чему равен коэффициент усиления триода, если заданы следующие параметры: 1) $\Delta U_a = 20$ В и $\Delta U_g = 0{,}4$ В; 2) $s_a = 5$ мА/В и $s_i = 0{,}2$ мА/В; 3) $R_i = 10$ кОм, $\Delta I_a = 10$ мА и $\Delta U_g = 1$ В?

1073. Определить коэффициент усиления триода, если изменение сеточного напряжения на 1 В вызывает

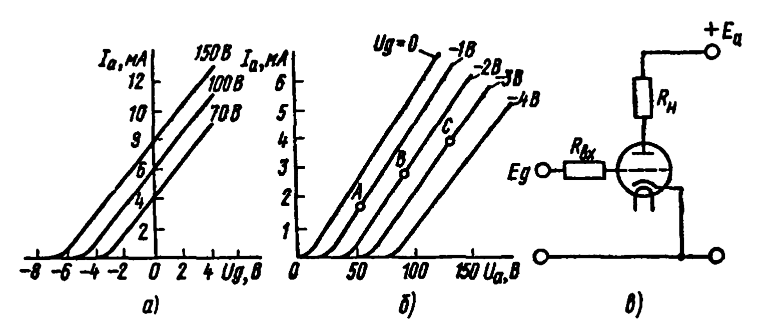


Рис. 104. *а*—к задаче 1076; *б*—к задачам 1076, 1077, 1078, 1083; *в*—к задаче 1078

изменение анодного напряжения на 20 В при неизменном токе анода. Чему равно внутреннее сопротивление этой лампы, если то же изменение сеточного напряжения вызывает изменение анодного тока на 20 мА при неизменном напряжении на аноде?

1074. Рассчитать коэффициент усиления триода, если при изменении сеточного напряжения на 0,5 В анодное напряжение возрастает от 100 до 140 В.

1075. Входное сопротивление триода 1 МОм. Какое максимальное сопротивление можно подключить последовательно сетке при настройке, чтобы сеточное напряжение было не менее 5 В при входном сигнале 15 В?

1076. На рис. 104,*а*,*б* приведены экспериментальные анодно-сеточные и анодные характеристики электровакуумного триода. Найти внутреннее сопротивление, крутизну анодной и анодно-сеточной характеристик, коэффициенты усиления лампы в режимах, соответствующих точкам *A*, *B*, *C*.

1077. Используя семейство анодных характеристик рис. 104,*б*), построить анодно-сеточные характеристики риода при анодных напряжениях 50 и 120 В.

1078. На рис. 104,*в* представлена схема включения риода, причем $E_а=180$ В, $E_g=-2$ В. Определить нодные ток и напряжение лампы при $R_н=30$ кОм по нодной характеристике, приведенной на рис. 104,*б*.

1079. Рассчитать изменение напряжения управляющей етки тетрода, если при неизменном токе напряжение ıа аноде меняется на 100 В. Коэффициент усиления етрода 20, 50, 100.

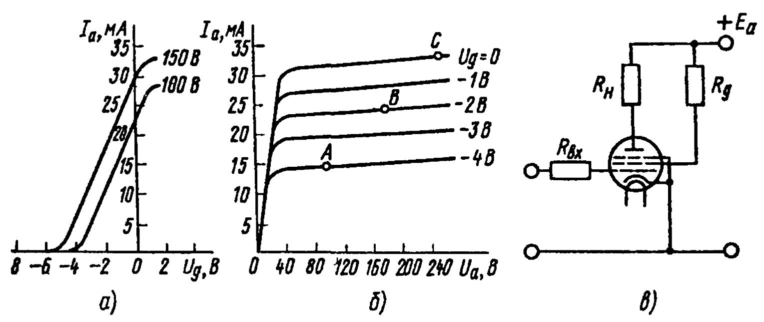


Рис. 105. *а*—к задаче 1080; *б*—к задачам 1080, 1081, 1082, 1083; *в*—к задаче 1082

1080. По анодно-сеточным и анодным характеристикам ıентода (рис. 105,*а,б*) найти внутреннее сопротивление, крутизну анодно-сеточной и анодной характеристик, коэффициенты усиления лампы в режимах, соответствующих точкам *А, В* и *С*.

1081. Используя семейство анодных характеристик (рис. 105,*б*), построить анодно-сеточные характеристики ıентода при анодных напряжениях 50 и 250 В.

1082. На рис. 105,*в* представлена схема включения ıентода, причем $E_а=250$ В; $E_g=-4$ В. Определить анодные ток и напряжение лампы при $R_н=10$ кОм, если е анодная характеристика приведена на рис. 105,*б*.

1083. Используя анодные характеристики электронных приборов на рис. 103,*а*, 104,*б*, 105,*б*, найти внутренние сопротивления ламп в режимах, соответствующих точкам *А* для постоянного и переменного токов.

1084. Составить принципиальную электрическую схему, позволяющую наблюдать анодные и анодно-сеточные характеристики электронных приборов на экране осциллографа.

1085. На пластины горизонтального и вертикального отклонения ЭЛТ подано постоянное напряжение 5 В. Определить расстояние от центра экрана до светящейся точки, если чувствительность горизонтально и вертикально отклоняющих устройств соответственно равна 3 и 5 мм/В.

1086. На пластины горизонтального и вертикального отклонения ЭЛТ подано постоянное напряжение 2 В и луч отклонился в точку *А* с координатами (20, 40 мм). Какие координаты будет иметь точка *В*, в которую отклонился луч, если подать на пластины напряжение 5 В? Найти расстояние между точками *А* и *В*.

1087. Экран ЭЛТ представляет собой круг ∅ 30 мм. Какое максимальное напряжение можно подавать на отклоняющие пластины ЭЛТ, если смещение луча соответствует чувствительности 5 мм/В?

1088. При приложении к вертикально отклоняющим пластинам ЭЛТ переменного синусоидального напряжения с действующим значением 50 В произошло некоторое смещение луча. Определить постоянное напряжение, которое вызывает такое же смещение луча.

1089. При увеличении напряжения *U*, подаваемого на пластины вертикального отклонения ЭЛТ осциллографа, на 5 В отклонение луча на экране составило 2/3 радиуса круглого экрана, а при увеличении на 3 В — 1/2 радиуса экрана. Чему равно напряжение *U*?

1090. Доказать, что если на горизонтальные и вертикальные отклоняющие пластины ЭЛТ осциллографа одновременно подавать один и тот же сигнал любой формы, то на его экране всегда будет прямая. Чему равен угловой коэффициент этой прямой?

1091. Сигналы какой формы необходимо подавать на отклоняющие пластины ЭЛТ, чтобы наблюдать на экране: а) гиперболу; б) параболу; в) логарифмическую кривую и экспоненту?

1092. Сигналы какой формы необходимо подавать на отклоняющие пластины ЭЛТ, чтобы светящаяся точка описывала на экране окружность?

1093. Какое будет изображение на экране осциллографа, если: а) на пластины вертикального и горизонтального отклонения будет подано постоянное напряжение; б) на пластины вертикального отклонения будет подано импульсное напряжение прямоугольной формы; в) на пластины горизонтального отклонения будет подано напряжение синусоидальной формы?

1094. Объяснить, при каком управлении электронным лучом в ЭЛТ (электростатическом или магнитном) меньше нарушается фокусировка при больших углах отклонения луча.

§ 32. Ионные (газоразрядные) приборы

Работа ионных приборов основана на тлеющем и дуговом разрядах в газовой среде под действием электрического поля.

Ламповый стабилитрон представляет собой двухэлектродный газонаполненный прибор, при работе которого используется свойство тлеющего разряда поддерживать практически неизменным напряжение горения при сравнительно больших изменениях анодного тока.

Тиратрон с холодным катодом представляет собой трехэлектродный газонаполненный прибор, основной характеристикой которого является пусковая, выражающая зависимость между напряжением зажигания и сеточным напряжением $U_з = f(U_g)$. Ток анодной цепи определяется следующей зависимостью:

$$I_а = \frac{E_а - U_т}{R_н}, \qquad (165)$$

где $E_а$ — напряжение питания анодной цепи; $U_т$ — напряжение на тиратроне; $R_н$ — сопротивление нагрузки.

Газотрон представляет собой газонаполненный диод, характеристики которого определяются дуговым разрядом в пространстве между анодом и катодом. В качестве управляемых приборов дугового разряда используются тиратроны, которые конструктивно выполняются как газонаполненные триоды или пентоды.

ЗАДАЧИ

1095. Чем определяется начальная ионизация, т. е. наличие заряженных частиц в газе при отсутствии электрического поля?

1096. Дифференциальное сопротивление газоразрядной лампы $R_д = 10$ Ом. Определить: а) как изменится напряжение на стабилитроне при увеличении тока от 10 до 100 мА; б) как изменится ток на участке тлеющего разряда при изменении напряжения питания на 0,4 В.

1097. Выбрать стабилитрон с таким дифференциальным сопротивлением, чтобы изменение тока стабилитрона

на 50 мА вызывало изменение напряжения стабилитрона, равного 100 В, не более чем на 1%.

1098. Напряжение питания цепи со стабилитроном (рис. 106,*а*) $E_a=200$ В. Определить анодный ток лампы при $R=750$, 250, 150 Ом, если ее анодная характеристика приведена на рис. 106,*б*.

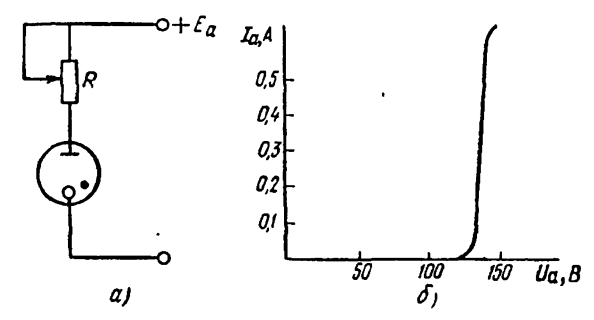


Рис. 106. *а*—к задаче 1098; *б*—к задачам 1098, 1215

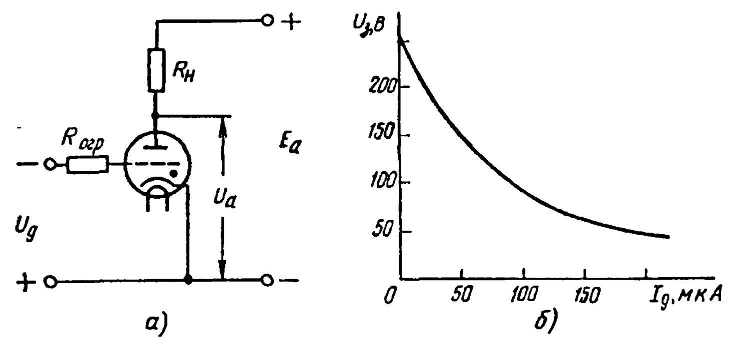


Рис. 107. *а*—к задачам 1100, 1107, 1109, *б*—к задаче 1103

1099. Как конструктивно должен быть выполнен ламповый стабилитрон, чтобы его вольт-амперная характеристика была симметричной, т. е. не менялась при изменении полярности источника питания?

1100. Чему равно напряжение тиратрона, схема включения которого показана на рис. 107,*а*, если напряжение анодного питания 50 В, анодный ток 30 мА, а сопротивление нагрузки 1 кОм?

1101. Определить мощность, выделяемую в нагрузке цепи тиратрона, и кпд устройства, если эдс источника анодного напряжения 150 В; напряжение на тиратроне 100 В; сопротивление нагрузки 1 кОм.

1102. Какой должна быть минимальная эдс источника анодного напряжения, чтобы при анодном токе 0,1 А напряжение горения тиратрона составляло не менее 50 В? Сопротивление нагрузки 1 кОм.

1103. На рис. 107,*б* приведена пусковая характеристика тиратрона с холодным катодом. При каком пусковом токе происходит зажигание тиратрона, если напряжение зажигания $U_з=80$, 130 и 180 В?

1104. Какой ток сетки тиратрона с холодным катодом необходим для его поджигания при напряжении зажигания $U_з=70$ В, если при увеличении тока сетки I_g от 10 до 20 мкА напряжение изменялось от 80 до 60 В? Зависимость $U_з=f(I_g)$ в указанном диапазоне является линейной.

1105. При изменении эдс источника питания цепи, состоящей из тиратрона и резистора, на 5 В анодный ток увеличился в полтора раза. Определить первоначальный анодный ток, если напряжение горения тиратрона 110 В, а сопротивление резистора 1 кОм.

1106. Ток газотрона при анодном напряжении 15 В равен 5 А. Какое количество теплоты выделяется в лампе в течение 1 ч? Определить внутреннее сопротивление газотрона в цепи постоянного тока.

1107. Напряжение дугового разряда тиратрона (рис. 107,*а*) составляет 10 В, сопротивление нагрузки $R_н=100$ Ом, эдс источника анодного напряжения $E_а=250$ В. Вычислить анодный ток тиратрона, если его дифференциальное сопротивление равно нулю.

1108. При изменении напряжения управления тиратрона от -8 до -12 В напряжение зажигания дугового разряда изменялось от 1 до 3 кВ. Найти сеточное напряжение, необходимое для зажигания тиратрона при 2 кВ, если пусковая характеристика тиратрона линейна в указанном диапазоне.

1109. Для чего служит ограничительный резистор $R_{огр}$ в управляющей сетке тиратрона дугового разряда (рис. 107,*а*)?

1110. Почему в качестве газовой среды в газонаполненных элементах используются обычно инертные газы; перечислить их.

1111. Для чего необходим прогрев ионных приборов перед их включением в номинальный режим? Почему поверхность катода всегда больше поверхности анода?

1112. С какой целью последовательно с электросветовым газоразрядным индикатором включается ограничи-

тельный резистор? Указать особенности конструктивного исполнения знаковых газоразрядных индикаторов.

§ 33. Полупроводниковые приборы

Приводимость полупроводниковых приборов имеет тепловой и примесный характер, а наиболее простым полупроводниковым прибором является терморезистор.

Основной статической характеристикой терморезистора является зависимость сопротивления рабочего тела от температуры, которая носит название температурной характеристики:

$$R_т = R_{T1} \exp\left(\frac{B_т}{T} - \frac{B_т}{T_1}\right), \qquad (166)$$

где R_{T1} — сопротивление терморезистора при температуре T_1; $B_т$ — постоянный коэффициент, К.

Наибольшее распространение имеют полупроводниковые приборы с электронно-дырочными переходами. Электронно-дырочный переход (или p-n-переход) представляет собой запорный слой, образующийся в месте контакта двух полупроводниковых областей, имеющих электронный и дырочный характер проводимости.

Диод — это полупроводниковый прибор с одним p-n-переходом, который имеет существенно различное сопротивление при изменении полярности приложенного напряжения. Незначительное сопротивление диода соответствует прямому включению, а очень большое — обратному включению.

Полупроводниковый диод характеризуется значительной чувствительностью к температуре среды, особенно при обратном включении. Поэтому вводится понятие температурной характеристики диода:

$$I_о = I_{о1} \exp\left(\frac{B_д}{T_1} - \frac{B_д}{T}\right), \qquad (167)$$

где $I_{о1}$ — обратный ток при температуре среды T_1; $B_д$ — постоянный коэффициент, К.

Полупроводниковые приборы с двумя p-n-переходами называются транзисторами. При включении транзистора с общим эмиттером управляющим является ток базы $I_б$, а при включении с общей базой — ток эмиттера $I_э$.

Зависимость тока коллектора $I_к$ от тока базы $I_б$ при включении с общим эмиттером определяется следующей зависимостью:

$$I_к = \beta(I_б + I_{ко}), \qquad (168)$$

где β — коэффициент усиления; $I_{к.о}$ — обратный ток p-n-перехода база — коллектор при $I_э=0$. Температурная характеристика тока $I_{к.о}$ подчиняется зависимости (167).

При включении с общей базой имеем

$$I_к=\alpha I_э+I_{к.о}, \tag{169}$$

где α — коэффициент усиления.

В справочниках по полупроводниковым приборам приводятся h-параметры, которые характеризуют приборы при малых изменениях токов и напряжений. В частности, коэффициенты α и β соответствуют статическим коэффициентам передачи тока $h_{21б}$ и $h_{21э}$.

Между коэффициентами усиления α и β существует следующая связь:

$$\alpha=\beta/(1+\beta). \tag{170}$$

Для импульсных электронных устройств используются многослойные полупроводниковые структуры.

ЗАДАЧИ

1113. При температуре 300 К сопротивление терморезистора равно 100 кОм. Каким температурам среды соответствуют сопротивления 50 и 150 кОм, если коэффициент $B_т=4600$ К?

1114. Сопротивление терморезистора при температуре среды 293 К равно 10 кОм, а при температуре среды 333 К — 1 кОм. Определить коэффициент $B_т$ и температурную чувствительность терморезистора при $T=308$ К.

1115. Терморезисторы одной партии имеют следующий разброс параметров: сопротивление $R_{T_1}=10—15$ кОм при температуре $T_1=293$ К и коэффициент $B_т=5000—5500$ К. Определить диапазон сопротивлений терморезисторов этой партии при температуре $T_2=333$ К.

1116. На рис. 108,*а* и *б* приведены схемы включения терморезистора и его вольт-амперная характеристика. Найти ток и напряжение терморезистора, если к нему последовательно подключен резистор, сопротивление которого 500 Ом. Напряжение питания $U_{пит}=12$ В.

1117. В соответствии с температурной характеристикой терморезистора (рис. 108,*в*) построить его вольт-амперные характеристики на линейном участке при температурах $T=273$ и 310 К, если вольт-амперная характеристика, представленная на рис. 108,*б*, соответствует температуре 293 К.

1118. Определить среднюю скорость направленного движения электронов и дырок в германиевом полупроводнике под действием электрического поля напряженностью 1 кВ/м, если подвижность носителей заряда $\mu_n = 0{,}39$ м²/В·с и $\mu_p = 0{,}135$ м²/В·с.

1119. Определить напряжение на диоде и резисторе нагрузки сопротивлением $R_н = 100$ кОм при обратном включении диода (рис. 109,*а*), если ток диода 10 мкА, а $U_{пит} = 80$ В.

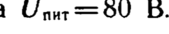


Рис. 108. *а*—к задачам 1116, 1291, 1293; *б*—к задачам 1116, 1117; *в*—к задаче 1117

Рис. 109. *а*—к задачам 1119, 1120, 1125, 1126; *б*—к задачам 1125, 1189; *в*—к задачам 1126, 1189

1120. Рассчитать сопротивление нагрузки при прямом включении диода (рис. 109,*а*), если $U_{пит} = 6$ В, а при напряжении на диоде 0,5 В ток равен 11 мА.

1121. До какой температуры среды можно применять диод с обратным током $I_{01} = 0{,}25$ мкА при температуре $T_1 = 300$ К и коэффициентом $B_д = 6000$ К, если ток при обратном включении не должен превышать 1 мА?

1122. Определить коэффициент $B_д$ полупроводникового диода по экспериментальным значениям обратного тока

$I_{01}=10$ мкА и $I_{02}=50$ мкА при температурах среды 293 и 333 К. Построить температурную характеристику тока диода в интервале температур 273—353 К.

1123. Прямую ветвь вольт-амперной характеристики полупроводникового диода на практике часто аппроксимируют степенной функцией вида $I=\alpha_д U^{\beta_д}$. При напряжении на диоде в прямом включении $U=0{,}4$ В ток был 8 мА. Чему равен прямой ток при напряжениях $U=0{,}2$; 0,5; 0,6 В, если показатель степени прямой ветви $\beta_д=1{,}8$?

1124. При напряжениях на диоде в прямом включении $U_1=10$ мВ и $U_2=50$ мВ ток был равен $I_1=1$ мА и $I_2=50$ мА. Определить параметры $\alpha_д$ и $\beta_д$ степенной функции $I=\alpha_д U^{\beta_д}$, аппроксимирующей прямую ветвь.

1125. Определить прямой ток диода (рис. 109,*а*) при $R_н=10$, 20, 50 Ом, если вольт-амперная характеристика диода соответствует приведенной на рис. 109,*б*, а $U_{пит}=2$ В.

1126. Найти напряжение на диоде в его обратном включении (рис. 109,*а*), если вольт-амперная характеристика диода приведена на рис. 109,*в*; $U_{пит}=80$, 60, 40 В, а $R_н=100$ кОм.

1127. Три однотипных диода включены последовательно в обратном направлении к источнику напряжения 600 В. Обратные токи диодов вследствие разброса параметров оказались равными 5, 8 и 10 мкА при напряжении на каждом 200 В. Определить общий ток цепи и падение напряжения на каждом диоде.

1128. Три однотипных диода включены параллельно в прямом направлении к источнику напряжения 0,5 В. Сопротивления диодов при этом напряжении оказались равными 5; 2,5 и 4 Ом. Определить ток каждого диода и общий ток цепи.

1129. При изменении приложенного к диоду прямого напряжения на 0,25 В объемный заряд *p-n*-перехода изменился на $5\cdot10^{-13}$ Кл. Определить емкость *p-n*-перехода.

1130. Обратное напряжение на варикапе, характеристика которого дана на рис. 4, изменяется от 5 до 20 В. В каких пределах изменяется емкость конденсатора $C=25$ пФ колебательного контура, параллельно которому подключен варикап?

1131. Указать основные особенности импульсных диодов по сравнению с выпрямительными и высокочастот-

ными диодами. Почему диоды Шоттки целесообразно применять в качестве импульсных диодов?

1132. Определить управляющий ток транзистора при включении с общим эмиттером (рис. 110,*а*), если в его входную цепь включен резистор сопротивлением 4, 6 и 8 кОм, а напряжение входного источника питания составляет 2 В. Принять $U_{эб}=0{,}3$ В.

1133. Чему равен коэффициент усиления β транзистора при включении с общим эмиттером (рис. 110,*а*) при токе базы $I_б=50$ мкА, обратном токе $I_{к0}=10$ мкА, если ток коллектора $I_к$ равен 3,6 мА?

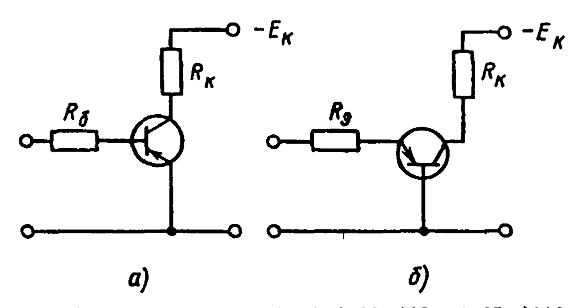


Рис. 110. *а*—к задачам 1132, 1133, 1134, 1135, 1136
б—к задачам 1137, 1138, 1139, 1140

1134. Напряжение $U_{кэ}$ на транзисторе при включении с общим эмиттером (рис. 110,*а*) составляет 15 В. Определить ток в цепи базы, если коэффициент усиления $\beta=50$, а мощность, рассеиваемая на транзисторе, равна 0,75 Вт. Током $I_{к0}$ пренебречь.

1135. Рассчитать допустимую температуру для транзисторов при включении с общим эмиттером (рис. 110,*а*), если ток $I_к$ не должен превышать 100 мА, а при температуре 300 К токи $I_б$ и $I_{к0}$ соответственно равны 1 мА и 50 мкА. Принять коэффициент $B_д=6000$ К, коэффициент усиления $\beta=90$.

1136. При изменении управляющего тока базы транзистора при включении с общим эмиттером (рис. 110,*а*) в два раза коллекторный ток увеличился на 10 мА. Определить первоначальные токи базы и коллектора, если коэффициент усиления $\beta=50$, а ток $I_{к0}=5$ мкА.

1137. Ток коллектора транзистора при включении с общей базой (рис. 110,*б*) равен 50 мА. Найти сопротивление нагрузки, если напряжение $U_{кб}$ равно 10 В, а напряжение питания составляет 60 В.

1138. При экспериментальном определении тока $I_{к.о}$ при включении транзистора с общей базой (рис. 110,*б*) управляющим токам $I_{э1}=1$ мА и $I_{э2}=2$ мА соответствовали коллекторные токи $I_{к1}=0{,}98$ А и $I_{к2}=1{,}95$ мА. Найти ток $I_{к\,о}$, а также коэффициент усиления α.

1139. Определить коэффициент усиления α при включении транзистора с общей базой (рис. 110,*б*), если его токи равны: $I_э=5$ мА; $I_к=4{,}9$ мА; $I_{к\,о}=20$ мкА. Чему равен коэффициент усиления β этого транизистора при включении с общим эмиттером?

1140. При включении с общей базой (рис. 110,*б*) используется транзистор с коэффициентом усиления $\alpha=0{,}98$. Найти диапазон изменения тока коллектора, если ток эмиттера меняется в пределах 9,8—20 мА. Ток $I_{к.о}=20$ мкА.

1141. Коэффициент усиления транзистора $\beta=30$, а ток $I_{к.о}=10$ мкА. Рассчитать токи $I_к$, $I_э$ и $I_б$ при включениях с общей базой и общим эмиттером, если известно, что $I_к$ был одинаков в обоих случаях, а соотношение между управляющими токами $I_э=35\ I_б$.

1142. Какой коэффициент усиления транзистора α при включении с общей базой необходимо выбрать, чтобы коэффициент усиления при включении с общим эмиттером $\beta=50$, 70, 100? Построить график зависимости $\alpha=f(\beta)$ для транзистора в диапазоне β от 0 до 100.

1143. Коэффициент усиления транзистора при включении с общим эмиттером $\beta=50$. Разброс значений этого коэффициента для приборов одной партии лежит в пределах 10%. Определить коэффициент усиления α при включении с общей базой и его разброс.

1144. На рис. 111,*а* приведено семейство вольт-амперных характеристик транзистора при включении с общим эмиттером. Найти коэффициент усиления транзистора по току при напряжении $U_{к\,э}=40$ В.

1145. На рис. 111,*б* представлено семейство вольт-амперных характеристик транзистора при включении с общей базой. Найти ток $I_к$ и напряжение $U_{к\,б}$ транзистора при сопротивлении нагрузки $R_н=2$ кОм, токе $I_э=10$ мА и напряжении питания $U_{пит}=40$ В. Определить коэффициент усиления транзистора по току.

1146. Найти ток базы, ток коллектора и напряжение коллектора при включении транзистора с общим эмиттером, если напряжение $U_{б\,э}=1$ В; сопротивление

$R_{б.э}=5$ кОм; напряжение питания $U_{пит}=50$ В; сопротивление нагрузки $R_н=1$ кОм. Входные и выходные характеристики транзистора приведены на рис. 111,*в,а*.

1147. При каком включении транзисторов (с общим эмиттером или общей базой): а) инвертируется входной сигнал; б) максимальное входное сопротивление; в) лучшие частотные свойства?

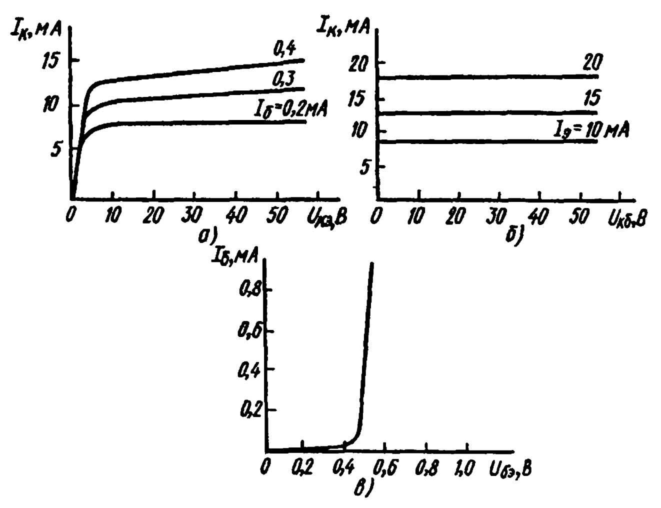


Рис. 111. *а* — к задачам 1144, 1146; *б* — к задаче 1145; *в* — к задаче 1146

1148. Объяснить принцип действия полевого транзистора. Как следует включить полевой транзистор с управляющим переходом и *p*-каналом, чтобы общим электродом был затвор?

1149. По семейству вольт-амперных характеристик тиристора (рис. 112,*а*) построить график зависимости напряжения переключения от амплитуды импульса тока запуска $U_{пер}=f(I_з)$, выбрав диапазон изменения $I_з$ от 0,1 до 1 мА.

1150. Определить максимальную амплитуду импульса тока запуска, при котором произойдет срабатывание тиристора, и ток в нагрузке после срабатывания, если напряжение питания $U_{пит}=175$ В, сопротивление нагрузки $R_н=8$ кОм (рис. 112,*б*). Вольт-амперные характеристики тиристора приведены на рис. 112,*а*.

1151. Какие из примесей — фосфор, алюминий, мышьяк, сурьма, галлий, бор, кремний, углерод — прида-

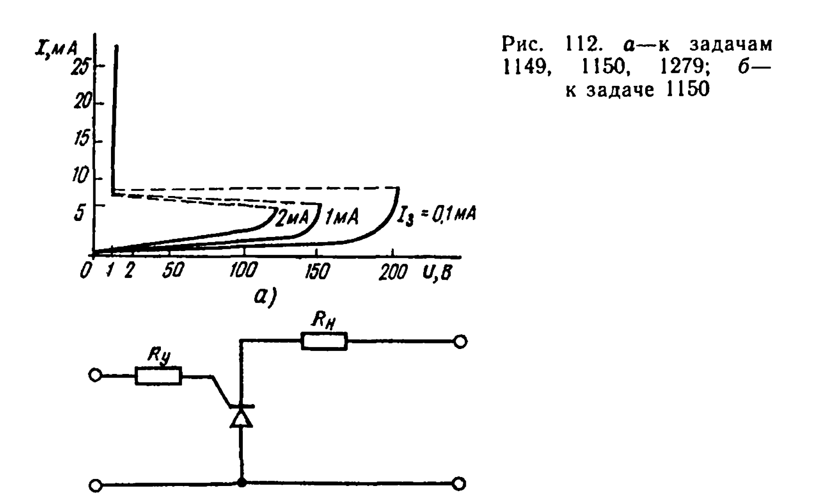


Рис. 112. *а*—к задачам 1149, 1150, 1279; *б*—к задаче 1150

ют германиевому полупроводнику электронную и дырочную проводимости?

1152. Какие типы диодов и транзисторов (германиевые или кремниевые) нашли более широкое применение в электронике?

1153. Составить принципиальную электрическую схему устройства, позволяющего наблюдать вольт-амперные характеристики транзисторов на экране осциллографа.

1154. Почему при пайке подводящих проводов полупроводниковых приборов, например диодов и транзисторов, их необходимо зажимать пинцетом или небольшими плоскогубцами?

§ 34. Фотоэлектронные приборы

В фотоэлектронных приборах преобразуются видимые, инфракрасные и ультрафиолетовые излучения в изменение какого-либо электрического параметра на выходе.

В качестве фотоэлементов используют электронные, ионные и полупроводниковые приборы, выполненные таким образом, что изменение светового потока вызывает изменение их характеристик. Фотоэлемнты помимо вольт-амперной имеют световую и спектральную характеристики. Световая характеристика представляет собой зависимость тока прибора от светового потока при постоянном напряжении. Важным параметром световой

характеристики является фоточувствительность (А/лм):

$$s_ф = \Delta I_ф / \Delta \Phi, \qquad (171)$$

где $\Delta I_ф$ — изменение тока фотоэлемента, соответствующее изменению потока $\Delta\Phi$.

Спектральная характеристика представляет собой зависимость фототока $I_ф$ от длины световой волны λ или спектра излучения при постоянных напряжении прибора и световом потоке.

ЗАДАЧИ

1155. Определить чувствительность фотоэлемнта, если при изменении светового потока на 10^{-3} лм анодный ток изменяется на 20, 70 и 150 мкА.

1156. На какой минимальный фотопоток будет реагировать фотоэлемент с фоточувствительностью 50 мкА/лм, если минимальный измерительный ток равен 5 мкА?

1157. При изменении светового потока на 0,05 лм ток в фотоэлементе изменяется от 5 до 10 мкА. Какому изменению напряжения $U_ф$ будет соответствовать этот режим при напряжении питания 300 В и сопротивлении нагрузки 10 МОм, если фотоэлемент работает в режиме насыщения? Определить чувствительность по напряжению.

1158. Освещенность фотоприемника обратно пропорциональна квадрату расстояния до излучателя. Как изменится освещенность фотоприемника при: а) увеличении расстояния в 2 раза; б) уменьшении расстояния в 3 раза?

1159. Фоточувствительность фотоэлемента равна 0,1 мА/лм, а освещенность — 100 лк. Найти ток при: а) увеличении площади освещения в два раза; б) уменьшении площади освещения в 1,5 раза. Активная площадь фотоэлемента равна 10^{-4} м^2.

1160. Как изменится ток (рис. 113,*а*), если: а) излучатель заслонен от фотоэлемента; б) изменено угловое положение фотоизлучателя относительно фотоприемника; в) увеличена яркость излучения фотоизлучателя?

1161. Минимальный ток фотоприемника (рис. 113,*а*) составляет 10 мкА. Какой минимальный световой поток должен иметь излучатель, если на приемник попадает 10% общего светового потока, а фоточувствительность равна 0,1 мА/лм?

1162. При изменении фотопотока в 2 раза плотность тока фотоэлектронной эмиссии увеличилась на

10^{-3} А/мм^2. Найти плотность тока эмиссии в обоих режимах, приняв зависимость плотности тока эмиссии от фотопотока линейной.

1163. При увеличении освещенности фотоэлемента от 100 до 300 лк фототок изменился на 0,5 мА, а при увеличении от 300 до 500 лк фототок изменился

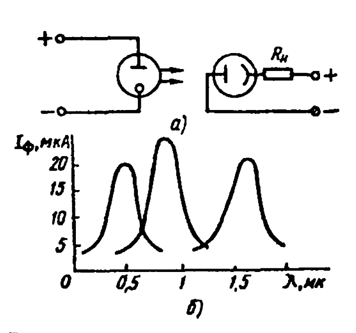


Рис. 113. *а*—к задачам 1160 1161, 1166, 1167, 1180, 1292; *б*—к задаче 1164

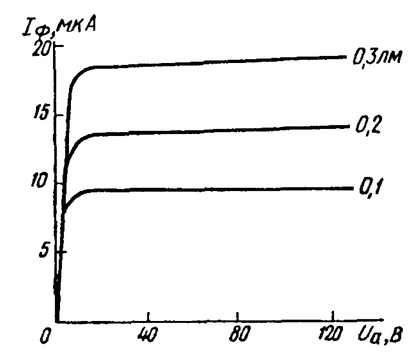


Рис. 114. К задачам 1165, 1166

на 0,1 мА. Определить, как изменялась фоточувствительность.

1164. На рис. 113,*б* приведены спектральные характеристики трех фотоэлементов. В каком диапазоне длин волн выходной ток каждого фотоэлемента будет больше 10 мкА? Каким частотам спектра соответствуют найденные диапазоны длин волн?

1165. На рис. 114 приведено семейство вольт-амперных характеристик электронного фотоэлемента для различных световых потоков. Построить световую характеристику при напряжении $U_а = 80$ В и найти фоточувствительность.

1166. Напряжение питания цепи (см. рис. 113,*а*) равно 100 В, а сопротивление нагрузки составляет 2 МОм. Определить фототок в цепи при различных световых потоках, если семейство вольт-амперных характеристик фотоэлемента приведено на рис. 114.

1167. Изобразить осциллограмму тока в нагрузке фотоэлемента (см. рис. 113,*а*) при питании цепи переменным напряжением.

1168. Как на основании ряда активности металлов объяснить активирование поверхности катодов электронных фотоэлементов металлами щелочноземельной группы?

1169. Как изменяется темновой ток фотоэлемента при увеличении температуры фотокатода? Целесообраз-

но ли использовать фотокатоды для получения электронного потока в электронных лампах с подогревным катодом?

1170. Какой минимальный световой поток можно измерять с помощью фотоумножителя (рис. 115), если фоточувствительность фотокатода 100 мкА/лм, коэффициент усиления каждого из трех каскадов 2, а выходной ток I_{min} должен быть не менее 20 мкА?

1171. Определить ток на выходе фотоумножителя с тремя каскадами (рис. 115), если коэффициент усиления каждого каскада равен 2, а фототок —10 мкА. Каждый вид эмиссии осуществляется на каждом из электродов?

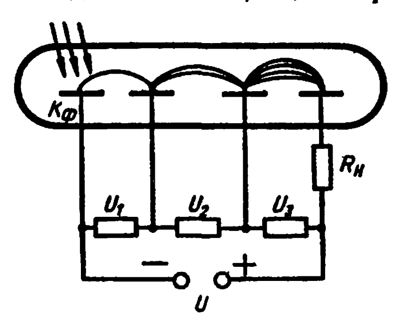


Рис. 115. К задачам 1170, 1171

Рис. 116. *а*—к задаче 1172; *б*—к задаче 1179

1172. На рис. 116,*а* приведены световые характеристики газонаполненного фотоэлемента для различных анодных напряжений. Определить фоточувствительность прибора при Ф = 0,05; 0,1; 0,15 лм и $U_а = 100$ В.

1173. Темновое сопротивление фоторезистора 50 кОм. При световом потоке 0,01 лм его сопротивление стало 30 кОм. Найти фоточувствительность прибора, если напряжение, подведенное к нему, равно 15 В.

1174. При увеличении светового потока от 0,01 до 0,02 лм сопротивление фоторезистора линейно изменилось от 70 до 50 кОм. Какому световому потоку соответствует сопротивление фоторезистора, равное 60 кОм?

1175. Как изменится фоточувствительность фоторезистора при изменении температуры среды от 300 до 350 К, если температурная характеристика фоторезистора имеет вид экспоненты, как и для терморезисторов, причем коэффициент $B_т = 5000$ К?

1176. Определить темновой ток фоторезистора при температуре среды 313 К, если сопротивление $R_{Тф_1} = 20$ МОм при температуре $T_1 = 293$ К, а коэффициент $B_т = 4000$ К. Сопротивление нагрузки 5 МОм, напряжение питания 50 В.

1177. При изменении светового потока на 0,02 лм сопротивление фоторезистора уменьшилось в 2 раза. Напряжение питания прибора 10 В, а фоточувствительность 0,1 мА/лм. Найти первоначальные световой поток и сопротивление прибора.

1178. В качестве элемента питания солнечной батареи используется фотодиод. Чему равен ток в нагрузке сопротивлением 1 кОм, если фото-эдс 0,7 В, а сопротивление диода 10 кОм?

1179. На рис. 116,*б* представлено семейство вольт-амперных характеристик фотодиода. Построить световые характеристики при напряжении питания ± 10 В и сопротивлении нагрузки 0,25 кОм. Определить чувствительность диода в прямом и обратном включениях.

1180. В качестве излучателя в оптоэлектронной паре (см. рис. 113,*а*) выбран светодиод с характеристикой излучения $\Phi = k_ф I_с$, а в качестве фотоприемника — фотодиод со световой характеристикой $I_ф = k_I \Phi$. Определить зависимость между выходным и входным сигналами, если $k_ф = 0,04$ лм/мА, а $k_I = 800$ мА/лм.

1181. На рис. 117,*а* дана простейшая схема включения фототранзистора, а на рис. 117,*б* — его вольт-амперные характеристики при различных световых потоках. Построить световую характеристику, если $U_{к.э} = 40$ В; $R_н = 5$ кОм. Как изменится коэффициент усиления транзистора по току при $\Phi = 0,1$ и 0,2 лм по сравнению с темновым режимом, если $I_б = 0,2$ мА?

1182. Площадь, освещаемая в области базы транзистора, составляет 2,2 мм^2. Какова фоточувствительность транзистора к изменению светового потока, если при из-

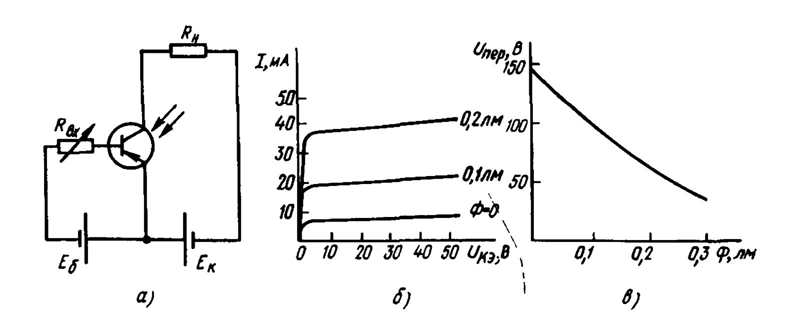


Рис. 117. *а, б*—к задаче 1181; *в*—к задаче 1183

менении освещенности на 500 лк ток изменился на 0,1 мА?

1183. На рис. 117,*в* представлена световая характеристика напряжения переключения фототиристора. При каком световом потоке произойдет переключение тиристора, если напряжение переключения $U_{пер}=50$, 80 и 130 В?

1184. Как конструктивно выполняются полупроводниковые фотоприборы для обеспечения освещенности определенных участков их рабочего тела?

1185. Указать основные типы применяемых в электронике оптронов. При каком фотоприемнике можно: а) получить сигнал на выходе без подключения дополнительного источника питания; б) усилить входной сигнал; в) производить коммутацию силовых электрических цепей?

§ 35. Выпрямители переменного тока

Коэффициент выпрямления определяется так:

$$k_в = R_{обр} / R_{пр}, \qquad (172)$$

где $R_{обр}$, $R_{пр}$ — сопротивления выпрямительных диодов в обратном и прямом направлениях.

Форма сигнала на выходе выпрямителя характеризуется коэффициентом пульсаций:

$$k_{п\,0} = U_m / U_{0в}, \qquad (173)$$

где U_m — амплитуда 1-й гармоники выходного переменного напряжения; $U_{0в}$ — постоянная составляющая выпрямленного напряжения (нулевая гармоника).

Для сглаживания пульсаций применяют фильтры (рис. 118), которые представляют собой устройства, имеющие

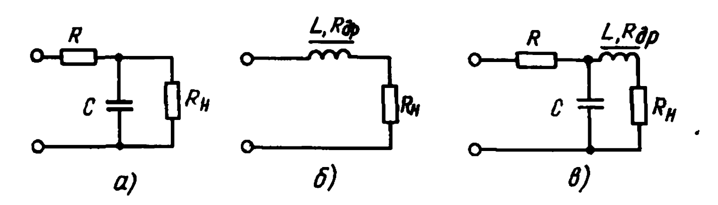


Рис 118 Схемы сглаживающих фильтров, *а*—*RC*-фильтр, к задаче 1200, *б*—*LR*-фильтр, к задаче 1201, *в*—*LC* фильтр, к задачам 1203, 1024

небольшое сопротивление при низкой частоте входного сигнала.

Основным параметром сглаживающих фильтров является коэффициент сглаживания:

$$k_{\text{с}} = k_{\text{п}\,0} / k_{\text{п}\,\text{н}}, \qquad (174)$$

где $k_{\text{п}\,0}$—коэффициент пульсаций на входе фильтра, $k_{\text{п}\,\text{н}}$ — коэффициент пульсаций на выходе фильтра. Эти коэффициенты находятся из следующих зависимостей:

для *LR*-фильтра

$$k_{\text{с}_{LR}} = \sqrt{(R_{\text{н}} + R_{\text{др}})^2 + (2\pi f_{\text{п}} L)^2} \,/\, (R_{\text{н}} + R_{\text{др}})\,; \qquad (175)$$

для *RC*-фильтра

$$k_{\text{с}_{RC}} = 2\pi f_{\text{п}} RC;$$

для *LC*-фильтра

$$k_{\text{с}_{LC}} = k_{\text{с}_{RC}} k_{\text{с}_{LR}},$$

где $f_{\text{п}}$ — частота пульсаций, Гц; $R_{\text{др}}$ — активное сопротивление дросселя, Ом.

Схемы симметричных Т- и П-образных фильтров приведены на рис. 119. Они определяются амплитудно-частотной характеристикой, т. е. зависимостью отношения

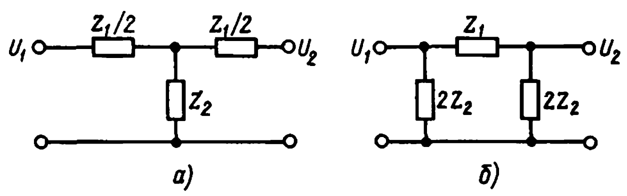


Рис 119 Схемы симметричных фильтров, *а*—Т-образного, к задаче 1206, *б*—П-образного, к задачам 1207, 1208

напряжений выходного и входного сигналов от частоты:

$$U_2/U_1=\frac{1}{1+Z_1/2Z_2}, \qquad (176)$$

где Z_1 и Z_2 — сопротивления двухполюсников, содержащие активные и реактивные элементы.

Полоса пропускания симметричных фильтров представляет собой область частот, в которой затухание сигнала равно нулю, т. е. $|U_2/U_1|=1$, и определяется выражениями:

$$Z_1=0 \text{ и } Z_1=-4Z_2. \qquad (177)$$

Стабилизатор напряжения с полупроводниковым стабилитроном характеризуется балластным сопротивлением:

$$R_{бал}=(U_{вх}-U_{ст})/(I_{ст}+I_{н}), \qquad (178)$$

где $U_{ст}$ — паспортное значение напряжения стабилитрона; $I_{ст}$ и $I_{н}$ — токи стабилизатора и нагрузки.

Качество работы стабилизаторов оценивают коэффициентом стабилизации:

$$k_{ст}=\Delta U_{вх}U_{н}/U_{вх}\Delta U_{н}. \qquad (179)$$

Коэффициент стабилизации для устройств на стабилитроне и бареттере определяется из следующих выражений:

$$k_{ст\,с}=R_{бал}U_{ст}/R_{д}U_{вх};\; k_{ст\,б}=R_{д}I_{ст}/U_{вх}, \qquad (180)$$

где $R_{д}$ — дифференциальное сопротивление стабилитрона или бареттера в рабочем режиме.

ЗАДАЧИ

1186. В устройствах установлены два выпрямителя с коэффициентом выпрямления $k_{в1}=10^3$ и $k_{в2}=10^2$ В каком из устройств кпд будет выше? Определить обратное сопротивление выпрямителей, если в обоих случаях сопротивление $R_{пр}=10$ Ом.

1187. Найти коэффициент пульсаций выпрямителя, на выходе которого амплитуда 1-й гармоники $U_m=100$ В, а постоянная составляющая на выходе $U_{0в1}=70$ В. Как изменится коэффициент пульсаций, если постоянная составляющая увеличится в 2 раза?

1188. При изменении прямого напряжения полупроводникового диода от 0,75 до 0,85 В прямой ток изменился с 35 до 85 мА, а при изменении обратного напря-

жения от 55 до 60 В обратный ток изменился от 20 до 40 мкА. Определить коэффициент выпрямления диода.

1189. Построить осциллограмму тока нагрузки (рис. 120,*а*), используя вольт-амперные характеристики диода на рис. 109,*б* и *в*, если напряжение $U_{вх}=160$ В; сопротивление нагрузки $R_н=5$ кОм.

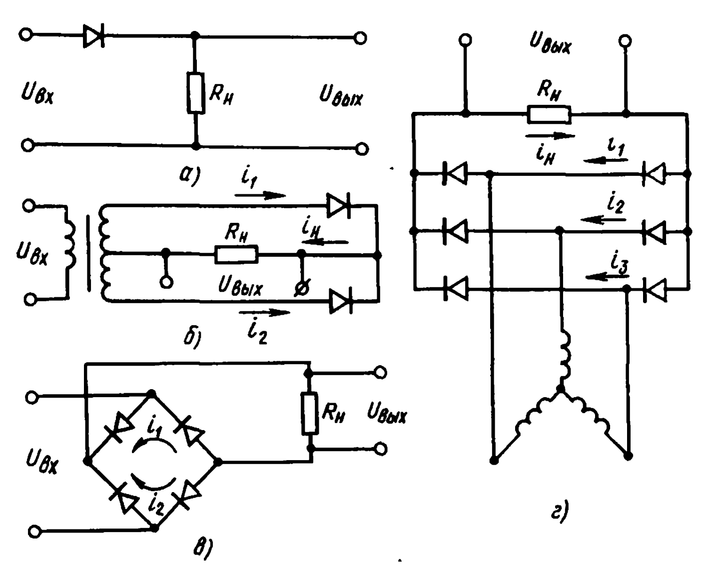


Рис 120 *а*—к задачам 1189, 1190, 1193, 1196, 1198, 1199, *б*—к задачам 1191, 1193, 1198, *в*—к задачам 1191, 1193, 1194, 1195, 1198 *г*—к задачам 1192, 1193, 1198, 1199

1190*. Рассчитать входные напряжение и ток однополупериодного выпрямителя (рис. 120,*а*), если рабочий режим соответствует следующим параметрам: $U_{0в}=100$ В; $I_{0в}=50$ мА.

1191. Рассчитать входные напряжения и токи двухполупериодных выпрямителей (рис. 120,*в*,*б*), если рабочий режим соответствует параметрам: $U_{0в}=100$ В и $I_{0в}=50$ мА.

1192. Рассчитать входные напряжение и ток трехфазного двухполупериодного выпрямителя (рис. 120,*г*), если $U_{0в}=100$ В и $I_{0в}=50$ мА.

*При решении задач 1190, 1191, 1193 и 1197 следует использовать параметры, приведенные в приложении 8.

1193. Какие максимальные напряжения $U_{0в}$ и токи $I_{0в}$ можно получить в выпрямителях, приведенных на рис. 120, если в них применяют диоды с допустимым обратным напряжением 100 В и допустимым прямым током 50 мА?

1194. В мостовой схеме двухполупериодного выпрямителя (рис. 120,*в*) используются диоды, прямая ветвь которых аппроксимируется степенной функцией $I = \alpha_д U^{\beta_д}$ с показателем $\beta_д = 2{,}5$. При напряжении 1 В ток каждого из диодов равен 1 А, допустимый ток равен 10 А. Найти напряжение в нагрузке $R_н = 100$ Ом при напряжении на входе 36, 110 и 160 В.

1195. Трансформатор включен в сеть напряжением 220 В, вторичная обмотка подключена к мостовой схеме выпрямителя (рис. 120,*в*). Число витков первичной обмотки 2000, а ток в резисторе нагрузки $R_н = 20$ Ом должен быть равен 2 А. Найти число витков вторичной обмотки, если падение напряжения на одном диоде 1 В. Изменением вторичного напряжения пренебречь.

1196. Однополупериодный выпрямитель (рис. 120,*а*), выполненный на электронном диоде, подключен к сети переменного напряжения 127 В частотой 50 Гц. Построить график мгновенного значения тока нагрузки сопротивлением $R_н = 2$ кОм, если анодная характеристика лампы приведена на рис. 103,*а*.

1197. Ток в цепи нагрузки однополупериодного выпрямителя равен 10 мА при $U_н = 100$ В. Какое минимальное сопротивление можно подключить параллельно нагрузке, если допустимый ток диода 20 мА, а его внутреннее сопротивление 0,5 кОм?

1198. Изобразить осциллограммы токов на выходе выпрямителей, схемы которых приведены на рис. 120.

1199. Изобразить осциллограммы токов в нагрузке выпрямителя: при изменении полярности диода (рис. 120,*а*); при обрыве одной из фаз (рис. 120, *г*).

1200. Найти емкость *RC*-фильтра (см. рис. 118,*а*), если $k_{c_{RC}} = 5$, $R = 1$ кОм, а фильтр подключен к однополупериодному выпрямителю с частотой $f_c = 50$ Гц. Чему будет равен коэффициент сглаживания, если к конденсатору *C* подключить параллельно еще один конденсатор емкостью 100 мкФ?

1201. Определить индуктивность *LR*-фильтра (см. рис. 118,*б*) при $k_{c_{LR}} = 2{,}5$, если фильтр подключен на выход двухполупериодного выпрямителя с частотой $f_c = 50$ Гц.

Активное сопротивление дросселя $R_{др}=0$, а сопротивление нагрузки $R_н=0{,}1$ кОм.

1202. Определить коэффициент сглаживания LR-фильтра, подключенного к выходу двухполупериодного выпрямителя с частотой $f_c=50$ Гц, если ток в нагрузке $R_н=5$ Ом равен 1,5 А. Обмотка дросселя фильтра с числом витков $w=100$ выполнена из медной проволоки ∅ 0,6 мм и длиной 10 м и расположена на сердечнике из литой стали сечением $S=4\cdot10^{-4}$ м^2 и длиной $l=0{,}2$ м.

1203. Чему равен коэффициент сглаживания LC-фильтра (см. рис. 118,*в*), если известны следующие параметры: $k_{c_{LR}}=1{,}5$; $f_п=100$ Гц; $R=1$ кОм; $C=10$ мкФ?

1204. Определить коэффициент сглаживания LC-фильтра (см. рис. 118,*в*) трехфазного двухполупериодного выпрямителя, если известны следующие параметры: $R_{др}=0$; $R_н=1$ кОм; $C=10$ мкФ; $L=100$ мГн; $R=0{,}1$ кОм; $f_c=100$ Гц.

1205. Из элементов, изображенных на рис. 121, составить принципиальную электрическую схему двухполупериодного выпрямителя на кенотроне со сглаживающим LC-фильтром.

1206. Реактивный Т-образный фильтр (см. рис. 119,*а*) включает в себя в качестве элемента Z_1 последовательный колебательный контур с $L_1=20$ мГн и $C_1=0{,}5$ мкФ, а в качестве элемента Z_2 — катушку индуктивности с $L_2=40$ мГн. Найти полосу пропускания фильтра.

1207. Реактивный П-образный фильтр (см. рис. 119,*б*) включает в себя в качестве элемента Z_1 последовательный колебательный контур с $L_1=20$ мГн и $C_1=0{,}5$ мкФ, а в качестве элемента Z_2 — конденсатор с $C_2=1$ мкФ. Найти полосу пропускания фильтра.

1208. Реактивный П-образный фильтр (см. рис. 119,*б*) включает в себя в качестве элемента Z_1 последовательный колебательный контур, а в качестве элемента Z_2 — параллельный колебательный контур, причем $L_1=L_2=20$ мГн. Выбрать такие конденсаторы контуров, чтобы полоса пропускания фильтра была 0,5—5 кГц.

1209. Каким будет результирующее напряжение стабилизации цепи при последовательном и параллельном включении стабилитронов?

1210. Каково балластное сопротивление $R_{бал}$ при $U_{ст}=12$ В на полупроводниковом стабилитроне (рис. 122,*а*), если известны следующие параметры: $U_{вх}=24$ В; $I_{ст}=5$ мА; $I_н=20$ мА?

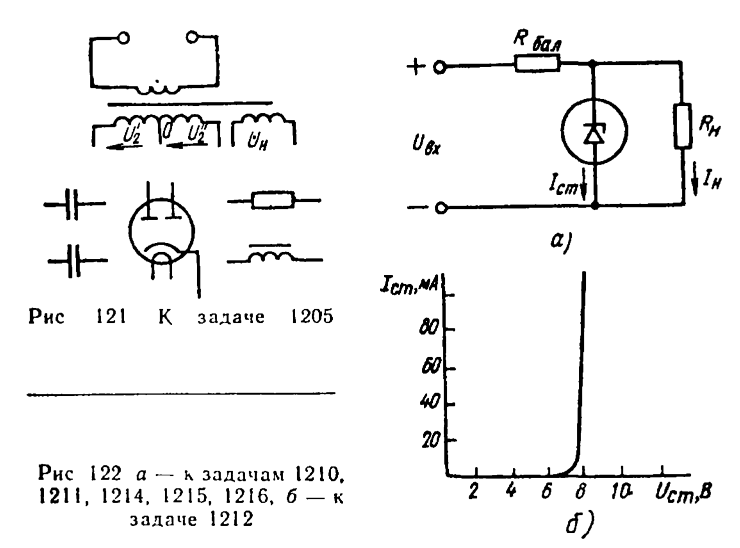


Рис 121 К задаче 1205

Рис 122 *а* — к задачам 1210, 1211, 1214, 1215, 1216, *б* — к задаче 1212

1211. Устройство, схема которого изображена на рис. 122,*а*, характеризуется следующими параметрами: $U_{вх} = 30$ В, $R_{бал} = 0{,}5$ кОм; $R_{н} = 1$ кОм; $U_{ст} = 18$ В, $R_{д} \approx 0$. Чему равен ток стабилитрона?

1212. Используя вольт-амперную характеристику полупроводникового стабилитрона (рис. 122,*б*), найти коэффициент стабилизации при токе стабилитрона $I_{ст} = 50$ мА, если известны параметры: $U_{вх} = 16$ В; $R_{бал} = 200$ Ом; $R_{д} = 5$ Ом. Определить такое балластное сопротивление, чтобы коэффициент стабилизации был не менее 50.

1213. Зависимость напряжения нагрузки (В) стабилизатора от входного напряжения может быть записана в следующем виде: $U_{н} = 0{,}01 U_{вх} + 10$. Определить коэффициент стабилизации при напряжениях $U_{вх} = 10$, 50 и 100 В.

1214. На сколько процентов изменится напряжение в нагрузке стабилизатора (рис. 122,*а*) с коэффициентом стабилизации $k_{ст} = 20$, если входное напряжение меняется в диапазоне 16 ± 2 В?

1215. В устройстве (рис. 122,*а*) вместо полупроводникового стабилитрона был включен ламповый, анодная характеристика которого приведена на рис. 106,*б*. Как изменится напряжение на выходе устройства при изменении тока стабилизатора в пределах 150—400 мА?

1216. Определить коэффициент стабилизации: а) для устройства на стабилитроне (рис. 122,*а*), если заданы па-

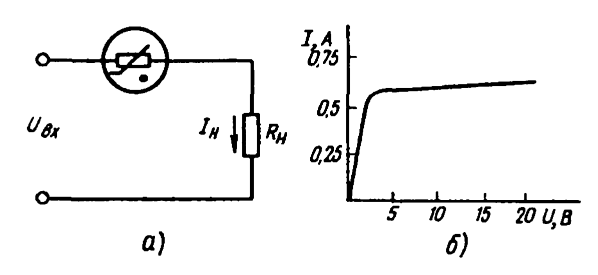


Рис. 123. *а*—к задачам 1216, 1217; *б*—к задаче 1217

раметры: $U_{ст}=8$ В; $U_{вх}=20$ В; $R_{бал}=100$ Ом; $R_д=4$ Ом; б) для устройства на бареттере (рис. 123,*а*), если заданы параметры: $I_н=10$ мА; $U_{вх}=20$ В; $R_д=10$ кОм.

1217. Используя вольт-амперную характеристику бареттера (рис. 123,*б*), найти его дифференциальное сопротивление и коэффициент стабилизации устройства, схема которого представлена на рис. 123,*а*, если известны параметры: $U_{вх}=20$ В; $R_н=10$ Ом.

1218. Составить схемы замещения стабилизаторов напряжения на стабилитроне и бареттере, используя источники напряжения и тока с внутренними сопротивлениями, равными дифференциальным сопротивлениям приборов.

1219. На рис. 124 приведена схема компенсационного стабилизатора напряжения. Каким образом происходит сравнение напряжения нагрузки и напряжения на стабилитроне? Пояснить принцип стабилизации напряжения.

1220. Рассчитать кпд выпрямительного устройства (рис. 125), если мощности, потребляемые трансформатором *Т*, выпрямителем *В* и фильтром *Ф*, соответственно равны: $P_т=20$ Вт; $P_в=10$ Вт; $P_ф=5$ Вт, а полезная мощность, выделяемая в нагрузке, составляет 100 Вт.

1221. Изобразить осциллограммы сигналов на выходе каждого из элементов блок-схемы, приведенной на рис.

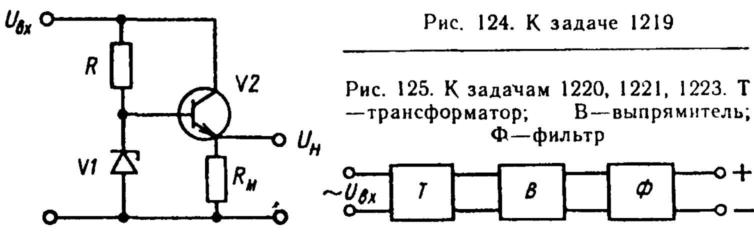


Рис. 124. К задаче 1219

Рис. 125. К задачам 1220, 1221, 1223. Т—трансформатор; В—выпрямитель; Ф—фильтр

125: а) при однополупериодном выпрямлении; б) при двухполупериодном выпрямлении.

1222. Составить принципиальную электрическую схему трехфазного однополупериодного выпрямления и изобразить осциллограммы тока на выходе.

1223. Составить одну из возможных принципиальных электрических схем выпрямления, соответствующую блок-схеме на рис. 125.

§ 36. Усилители электрических сигналов

В зависимости от соотношения выходного сопротивления $R_{вых}$ и сопротивления нагрузки $R_н$ усилители делятся на три класса: 1) усилители напряжения ($R_{вых} \ll R_н$); 2) усилители тока ($R_{вых} \gg R_н$); 3) усилители мощности ($R_{вых} \approx R_н$).

Следует отметить, что усилители 1-го и 2-го классов также служат усилителями мощности.

Основными параметрами усилителей являются коэффициент усиления, коэффициент полезного действия и коэффициент нелинейных искажений.

Коэффициент усиления представляет собой отношение приращений выходного и входного сигналов:

$$k_I = \Delta I_{вых} / \Delta I_{вх}; \quad k_U = \Delta U_{вых} / \Delta U_{вх}; \quad k_P = \Delta P_{вых} / \Delta P_{вх}. \quad (181)$$

Для оценки коэффициента усиления часто пользуются логарифмическими единицами — децибелами (дБ). Коэффициент усиления, выраженный в децибелах, определяется так:

$$k_{дб} = 20 \lg \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}} = 20 \lg k. \quad (182)$$

Под кпд усилителя понимают отношение мощности выходного сигнала к мощности, потребляемой от источника.

Коэффициент нелинейных искажений представляет собой следующую зависимость:

$$k_{н.и} = \sqrt{k_2^2 + k_3^2 + k_4^2 + \dots}, \quad (183)$$

где k_2, k_3, k_4 и т. д. — коэффициенты, представляющие собой отношение второй, третьей и т. д. гармоник к амплитуде первой гармоники.

Если одного усилителя недостаточно, то устанавливают многокаскадные усилители, коэффициент усиления которых равен произведению коэффициентов усиления каскадов.

Для уменьшения искажений в усилители вводится отрицательная обратная связь. Под обратной связью усилителя понимают передачу части энергии с его выхода во входную цепь.

Коэффициент усиления усилителя с обратной связью определяется зависимостью

$$k_{ус}=k/(1+kk_{0\,с}), \qquad (184)$$

где k — коэффициент прямого усиления; $k_{0.с}$ — коэффициент обратной связи.

Для преобразования электрических сигналов в электронных устройствах широко применяют операционный усилитель, который представляет собой прибор, выполненный в одном полупроводниковом кристалле.

ЗАДАЧИ

1224. Определить коэффициенты усиления k_I, k_U и k_P усилителя, на входе которого $I_{вх}=1$ мА, $P_{вх}=10$ мВт, а на выходе $U_{вых}=250$ В, $P_{вых}=2{,}5$ Вт.

1225. Каков диапазон изменения: а) выходного тока пассивного устройства, если $I_{вх}=20$ мкА, а $U_{вых}=2\ U_{вх}$; б) входного напряжения активного устройства, если $U_{вых}=10$ В, а $I_{вых}=5\ I_{вх}$?

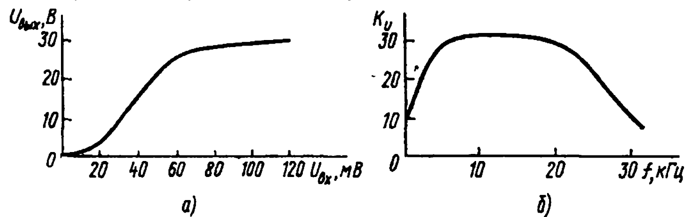


Рис. 126. *а* — к задаче 1126, *б* — к задаче 1127

1226. На рис. 126, *а* приведена статистическая характеристика усилителя напряжения. Построить график мгновенного значения выходного напряжения при подаче на вход переменного напряжения $u_{вл}=100\sin 314t$, мВ. Найти коэффициент усиления.

1227. На рис. 126,*б* приведена частотная характеристика усилителя. Определить полосу пропускания усилителя и коэффициент нелинейных искажений, если на вход подается напряжение с основной гармоникой частотой 10 кГц и амплитудой 2 В, а амплитуды второй и третьей гармоник равны 1 и 0,5 В.

1228. Изобразить осциллограммы выходных сигналов усилителей на лампах, работающих в режимах классов *A*, *B* и *C*, при входном синусоидальном сигнале.

1229. Чему равен кпд усилителя с коэффициентом усиления $k_p = 40$, если мощность входного сигнала 10 мВт, а мощность, потребляемая от источника, 0,48 Вт?

1230. Найти кпд усилителя на триоде, если мощность, выделяемая в цепи накала, равна 6,3 Вт; мощность, затрачиваемая в анодной и катодной цепи, — 11 Вт; а мощность, выделяемая в нагрузке, составляет 100 Вт.

1231. Определить сопротивление нагрузки усилителя, если общая потребляемая усилителем мощность 10 Вт, ток в нагрузке $I_{вых} = 100$ мА при кпд, равном 90%.

1232. Объяснить, не противоречит ли явление усиления входного сигнала в усилителе закону сохранения и превращения энергии. Являются ли усилителями повышающий трансформатор, *R C*-фильтр?

1233. На вход усилителя с коэффициентом усиления $k_I = 10$ подается сигнал, форма которого приведена на рис. 25,*б*. Определить максимальное значение выходного сигнала и построить его график.

1234. Коэффициент усиления усилителя по полезному сигналу амплитудой 1 В составляет 20 дБ, а по помехе амплитудой 0,1 В — (—10) дБ. Чему равен уровень помехи на выходе усилителя?

1235. На рис. 127 приведена схема составного транзистора с коэффициентом усиления каждого из транзисторов $\beta_1 = \beta_2 = 50$. Найти общий коэффициент усиления транзистора. Начертить схему при использовании транзисторов *n—p—n* структуры.

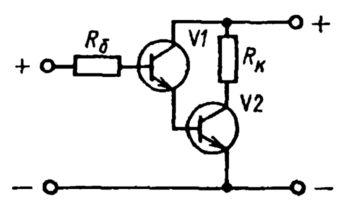


Рис 127. К задаче 1235

1236. В многокаскадном усилителе используются четыре усилителя с коэффициентом усиления: $k_{дб1} = 20$; $k_{дб2} = 40$; $k_{дб3} = 40$; $k_{дб4} = 20$ дБ. Найти общий коэффициент усиления многокаскадного усилителя.

1237. Определить коэффициент усиления четырехкаскадного усилителя, если коэффициент усиления каждого каскада равен 5.

1238. Коэффициент усиления трех каскадов равен 8000. Найти коэффициенты усиления каждого каскада, если коэффициент усиления каждого последующего каскада в 10 раз больше предыдущего.

1239. Коэффициенты усиления трехкаскадного усилителя равны: $k_{дб1}=24$; $k_{дб2}=36$; $k_{дб3}=48$ дБ. Рассчитать ток на выходе при входном токе 2 мкА.

1240. В полосе пропускания допустимые изменения коэффициента усиления $k_{дб}$ не должны превышать 1—3 дБ. Каким процентным изменениям коэффициента усиления k соответствуют эти значения?

1241. Определить коэффициент нелинейных искажений усилителя при наличии в анодной цепи лампы трех составляющих гармоник с амплитудами: $I_{m1}=40$ мА; $I_{m2}=2$ мА; $I_{m3}=0{,}4$ мА.

1242. Найти коэффициент нелинейных искажений усилителя, если квадраты коэффициентов k_2, k_3, k_4 и т. д. убывают по геометрической прогрессии со знаменателем 1/6, а $k_2=1/4$.

1243. Выходной сигнал усилителя представляет собой нелинейную периодическую зависимость, которая может быть представлена в виде суммы гармоник, амплитуды каждой из которых в 2 раза меньше предыдущей. Определить коэффициент нелинейных искажений усилителя.

1244. Найти коэффициент обратной связи, если при напряжении $U_{вх}=10$ В сигнал на выходе $U_{вых}=100$ В после введения обратной связи понизился до 80 В.

1245. Каков максимальный коэффициент обратной связи, если коэффициент усиления должен быть $k_{ус}=10$ в усилителе с обратной связью? При отсутствии обратной связи коэффициент усиления равен 20.

1246. Коэффициенты усиления прямой и обратной связи соответственно равны: $k=40$ дБ и $k_{ос}=-40$ дБ. Найти коэффициент усиления $k_{ус}$ усилителя с обратной связью.

1247. При коэффициенте обратной связи $k_{ос}=0{,}01$ коэффициент усиления усилителя был $k_{ус}=50$. Чему равен коэффициент усиления усилителя при коэффициентах обратной связи $k_{ос}=0{,}025$; 0,08; 0,001. Построить график зависимости $k_{ус}=f(k)$ при $k_{ос}=0{,}01$.

1248. Изобразить осциллограммы токов $I_к$ и $I_б$ транзисторов и тока нагрузки $I_н$ в усилителях (рис. 128,*а, б*), если на вход подается синусоидальный сигнал.

1249. Составить принципиальные электрические схемы: а) однокаскадного усилителя на электронных лампах; б) двухтактного усилителя мощности на электронных лампах. Изобразить осциллограммы токов в нагрузке усилителей.

1250. Какого типа транзисторы могут использоваться в усилителях (рис. 128,*а,б*) при условии, что частота входного сигнала составляет 0,5 МГц, а мощность, потребляемая нагрузкой, не первышает 50 мВт?

1251. Как изменится ток в нагрузке (рис. 128,*б*) при обрыве одного из резисторов $R_б$? Изобразить осциллограммы тока до и после обрыва.

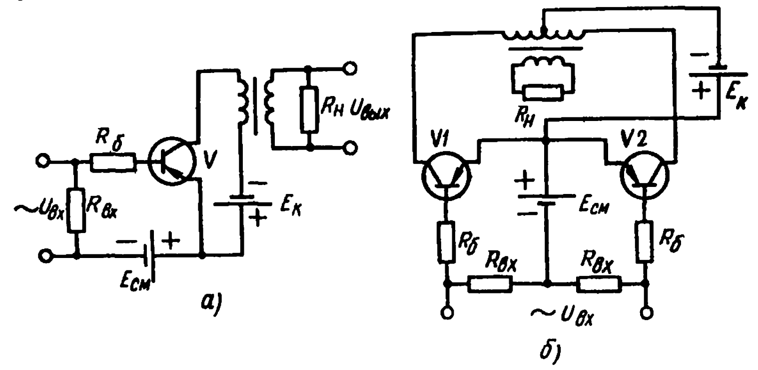


Рис 128 *а* — к задачам 1248, 1250, *б* — к задачам 1248, 1250, 1251

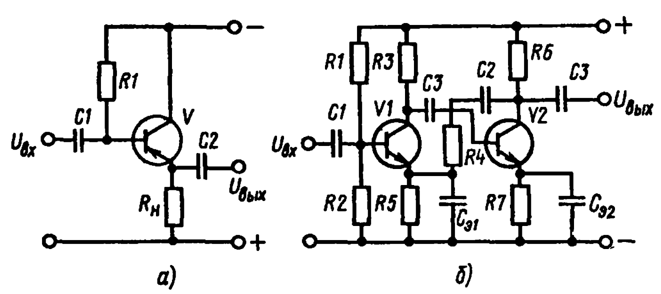


Рис 129 *а*—к задаче 1252, *б*—к задачам 1253, 1254

1252. Доказать, что коэффициент усиления по напряжению эмиттерного повторителя (рис. 129,*а*) не превышает $k_U \leqslant 1$. Изобразить осциллограмму тока в нагрузке этого устройства при переменном входном сигнале.

1253. Объяснить назначение элементов двухкаскадного усилителя (рис. 129,*б*). Какие элементы можно использовать для регулировки коэффициентов усиления первого и второго каскадов, коэффициента частотных искажений, коэффициента обратной связи?

1254. Как изменится выходной сигнал усилителя (рис. 129,*б*): а) при обрыве в цепи конденсатора $C_{э1}$;

при обрыве в цепи резистора $R4$; в) при обрыве в цепи зистора $R5$?

1255. В операционном усилителе (рис. 130) с $R_{oc}=$ 1 МОм, $R_1=10$ кОм на инвертирующий вход пода-·ся напряжения 5, 10 и 50 мВ. Определить выходные пряжения усилителя.

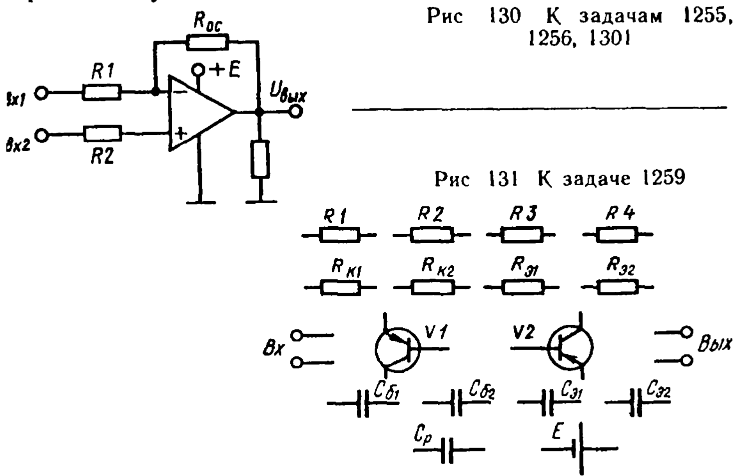


Рис 130 К задачам 1255, 1256, 1301

Рис 131 К задаче 1259

1256. В операционном усилителе (рис. 130) с $R_{oc}=$ $=1$ МОм; $R_1=5$ кОм; $R_2=20$ кОм на входы подаются ıапряжения 10 и 50 мВ. Определить выходное напряже-ıие усилителя.

1257. Указать основные преимущества операционных 'силителей по сравнению с усилителями на дискрет-ıых элементах. Привести примеры конструктивного ис-ıолнения операционных усилителей.

1258. Какого типа транзисторы могут использоваться ı усилителях со следующими параметрами: а) $f=50$ кГц; $_к=10$ мА; $\beta=50$; б) $f=1$ МГц, $I_к=1$ мА; $\beta=100$; ı) $f=1$ кГц; $I_к=0,1$ А; $\beta=50$.

1259. На рис. 131 даны элементы двухкаскадного /силителя на транзисторах. Составить его принципиаль-ıую электрическую схему.

§ 37. Генераторы колебаний высокой частоты

Для преобразования энергии постоянного тока в гармонические колебания высокой частоты служат генераторы с резонансным контуром.

Резонансный контур характеризуется резонансной частотой $f_{рез}$ (Гц), волновым сопротивлением ρ (Ом), добротностью Q и полосой пропускания f_d (Гц):

$$f_{рез}=1/(2\pi\sqrt{LC});\ \rho=\sqrt{LC};\ Q=\rho/R_L;$$

$$f_d=f_{рез}/Q, \qquad (185)$$

где R_L — активное сопротивление дросселя, Ом.

Для получения прямоугольных колебаний высокой частоты используются мультивибратор и блокинг-генератор. Прямоугольные импульсы характеризуются следующей зависимостью:

$$T=\tau_и+t_п, \qquad (186)$$

где T — период колебаний, с; $\tau_и$ — время импульса; $t_п$ — время паузы.

Отношение $T/\tau_и$ носит название скважности импульсов.

ЗАДАЧИ

1260. Емкость резонансного контура равна 1 мкФ. Какую индуктивность следует выбрать, чтобы частота контура была 10 кГц?

1261. Добротность контура должна быть не менее 100. Какими должны быть индуктивность и емкость, если активное сопротивление дросселя 50 Ом, резонансная частота 5 кГц? Найти волновое сопротивление.

1262. Полное сопротивление контура на резонансной частоте 10 кГц равно 10 Ом. Найти его добротность, если емкость конденсатора 0,2 мкФ.

1263. Найти резонансную частоту, добротность и полосу пропускания резонансного контура со следующими параметрами: $L=100$ мГн; $C=0{,}1$ мкФ; $R_L=10$ Ом.

1264. На какой диапазон длин волн можно настроить колебательный контур, если его индуктивность 2 мГн, а емкость может меняться от 0,5 до 10 нФ?

1265. Для резонансного контура генератора высокочастотных колебаний были выбраны элементы со следующими параметрами: $L=1$ мГн $\pm10\%$, $C=1$ мкФ $\pm10\%$; $R_L=10$ Ом $\pm10\%$. Определить диапазоны возможных значений волнового сопротивления, добротности и полосы пропускания контура.

1266. По графикам импульсных напряжений на рис. 132,*а* и *б* определить амплитуду импульсов, длительность

реднего и заднего фронтов, длительность импульсов период повторения, скважность и частоту.

1267. Частота прямоугольных колебаний составляет 0 кГц. Чему равны время импульса $\tau_и$ и паузы $t_п$, если $=0,1t_п$? Найти скважность импульсов при $\tau_п=0,1t_п$; $t_п$; $10t_п$.

1268. На выходе генератора импульсов электриче-ие сигналы имеют вид, изображенный на рис. 27,*а*, *в*. Найти в общем виде выражения для мгновенных ачений выходных сигналов генератора.

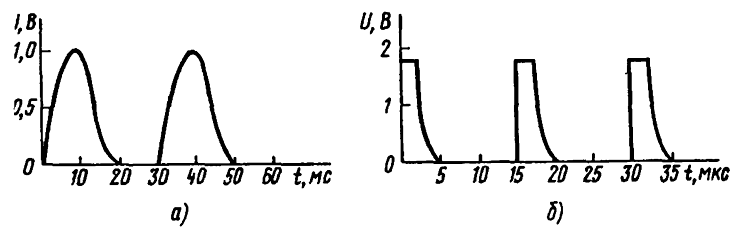


Рис 132 К задаче 1266

1269. Какой формы сигнал необходимо подать на ход *RC*-фильтра, чтобы снимаемый с резистора сиг-ал был прямоугольной формы? От каких параметров ходного сигнала зависят длительность и амплитуда рямоугольных импульсов на выходе устройства?

1270. Выходной сигнал генераторов высокочастотных армонических колебаний частотой 10 кГц модулирует-я по амплитуде напряжением $u=10+50\sin 314t$, мВ. аписать выражение для мгновенного значения модулиро-анного сигнала и построить его график.

1271. При преобразовании импульсного сигнала на ходе генератора была использована частотно-импуль-ная модуляция. Как изменится скважность импульсов, сли, начиная с некоторого момента времени *t*, частота меньшается втрое? Построить график частотно-модули-ованного сигнала.

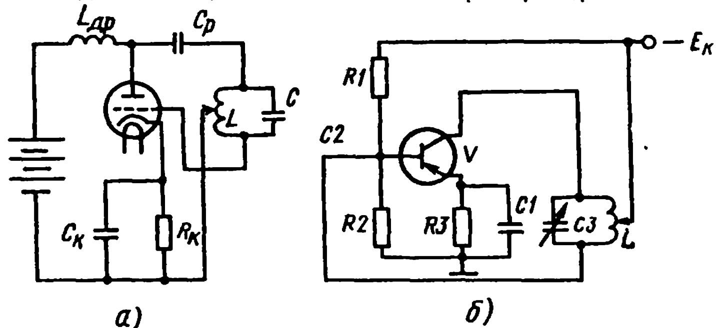
1272. В колебательном контуре генератора синусои-альных колебаний на рис. 133,*а* $L=10$ мГн, частота онтура 100 кГц. Определить искажение частоты, если ежду витками катушки возникают нежелательные ем-ости, которые эквивалентны емкости конденсатора, под-лючаемого параллельно конденсатору контура $C_L=10$ пФ.

1273. Определить характер обратной связи в гене-аторах синусоидальных колебаний (рис. 133,*а*, *б*).

Какое соотношение между коэффициентами усиления каскада и обратной связи выполняется на резонансной частоте?

1274. Как зависит частота колебаний генераторов (рис. 133,*а*,*б*) от напряжения питания? Какие элементы генераторов необходимо изменять для регулирования частоты генерируемых колебаний?

1275. Указать характер сигналов в анодной, катодной и сеточной цепях лампы в генераторе (рис 133,*а*)



133 *а*—к задачам 1272, 1273, 1274, 1275, 1277, *б*—к задачам 1273, 1274, 1276, 1277

Какие изменения произойдут в работе генератора при обрыве резистора $R_к$?

1276. Транзисторы каких типов могут использоваться в генераторе (рис. 133,*б*), если частота генерируемых колебаний 1 МГц, а их мощность на коллекторе 20 мВт?

1277. Какие элементы генераторов синусоидальных колебаний (рис. 133,*а*,*б*) можно использовать для регулирования амплитуды или частоты колебаний?

1278. Какими параметрами элементов генератора пилообразного напряжения (рис. 134,*а*) определяется частота генерируемых колебаний?

1279. Используя вольт-амперные характеристики тиристора, изображенные на рис. 112,*а*, определить максимальное сопротивление $R_н$, выше которого генератор пилообразного напряжения (рис. 134,*а*) не работает. Принять напряжение питания 250 В, управляющий ток 2 мА.

1280. Какова скважность прямоугольных импульсов на выходе симметричного мультивибратора (рис. 134,*б*)? В каких пределах может изменяться скважность?

1281. Указать характер сигналов цепей базы и коллектора транзисторов в мультивибраторе (рис. 134,*б*) и блокинг-генераторе (рис. 134,*в*).

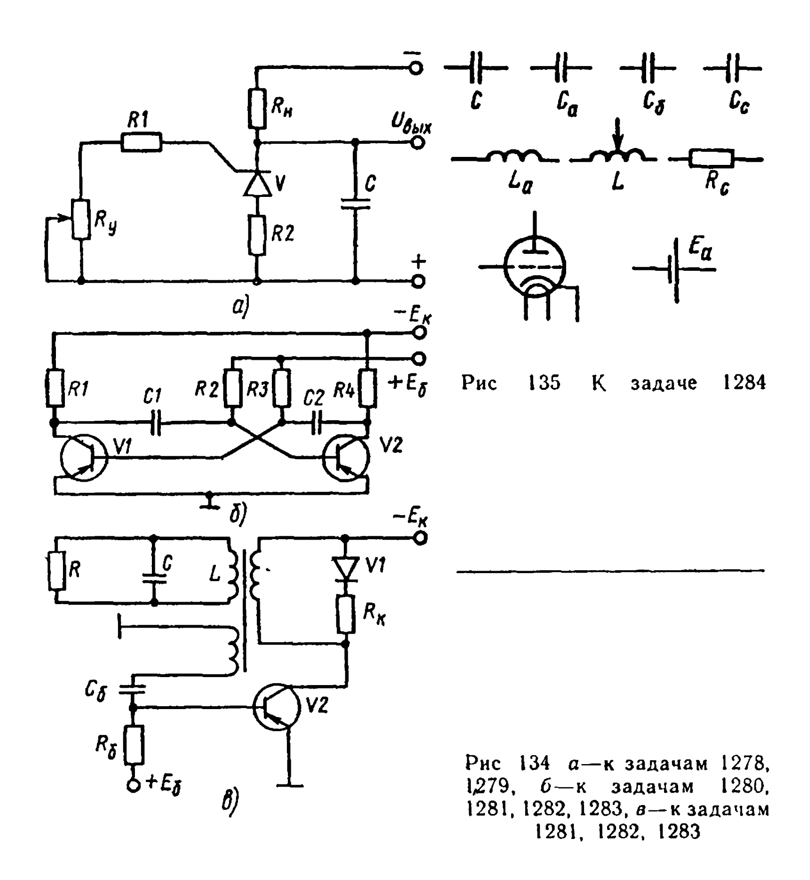


Рис 135 К задаче 1284

Рис 134 *а*—к задачам 1278, 1279, *б*—к задачам 1280, 1281, 1282, 1283, *в*—к задачам 1281, 1282, 1283

1282 Какими элементами генераторов прямоугольных колебаний (рис 134,*б,в*) определяется передний и задний фронт импульсов?

1283 Параметрами каких элементов генераторов (рис. 134,*б,в*) необходимо управлять для осуществления амплитудной или частотной модуляции генерируемого сигнала?

1284. Используя элементы на рис. 135, составить принципиальную электрическую схему генератора гармонических колебаний.

1285. Составить простейшую электрическую схему генератора высокочастотных колебаний на одном транзисторе, включив в цепь обратной связи кварцевый резонатор. В чем состоит явление обратного пьезоэлектрического эффекта в пластинах из кварца?

§ 38. Применение электронных устройств в системах автоматики

Для контроля и регулирования параметров технологических процессов используются различные электронные приборы, например реле времени, напряжения и температуры. Применение электронных устройств в системах автоматики позволяет решать широкий круг задач, возникающих на современном уровне развития народного хозяйства.

ЗАДАЧИ

1286. Как изменится время срабатывания реле времени (рис. 136,*а*), если: а) увеличить емкость C; б) уменьшить сопротивление R?

1287. Определить минимальный коэффициент усиления β транзистора при включении с общим эмиттером, если в режиме насыщения при токе базы 1,5 мА ток обмотки исполнительного реле в коллекторной цепи должен быть не меньше 60 мА.

1288. Найти управляющий ток транзистора, необходимый для срабатывания реле тока (рис. 136,*б*) при токе коллектора $I_к = I_{сраб} = 100$ мА, если коэффициент усиления $\beta = 50$, а ток $I_{к0} \approx 0$.

1289. В цепи (рис. 136,*в*) нагрузкой является обмотка электромагнитного реле. Определить емкость конденсатора C, необходимую для получения задержки на срабатывание 50 мс, если напряжение на конденсаторе после включения питания меняется по закону

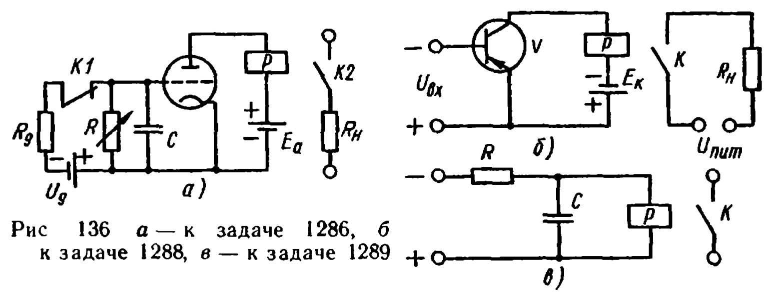


Рис 136 *а* — к задаче 1286, *б* к задаче 1288, *в* — к задаче 1289

$u_c = 16(1 - e^{-t/RC})$, В, напряжение срабатывания реле 10 В, а $R = 1$ кОм

1290. Для загорания лампы сопротивлением 2 кОм на пульте управления, сигнализирующей о превышении до-

стимой температуры среды, равной 373 К, необходимо иложить к ней напряжение 20 В. Определить коэффициент $B_т$ терморезистора, который следует последотельно подключить к лампе, если напряжение питаія 40 В, а ток в цепи не должен быть более 10 мА. ›к в цепи при температуре 293 К равен 1 мА.

1291. Как происходит преобразование температуры электрический сигнал в цепи с терморезистором м. рис. 108,*а*)? Каким образом можно произвести настройку цепи на другую температуру среды?

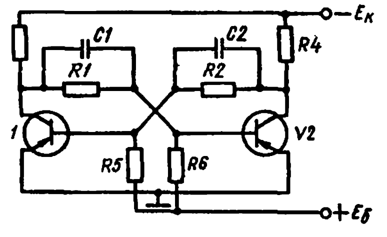


Рис 137. К задачам 1294, 1295

1292. Определить такую фоточувствительность фотоэлемента, чтобы ток в нагрузке фотоприемника (см. рис. 113,*а*) при световом потоке 0,1 лм составил 10 мкА.

1293. Каков световой поток, при котором пройдет срабатывание реле на фоторезисторе, схема которо› аналогична схеме на рис. 108,*а*, если фоточувствитель›сть 100 мА/лм, а ток срабатывания 10 мкА?

1294. На рис. 137 изображена схема устройства с вумя устойчивыми состояниями — симметричного тригра. В исходном состоянии открыт правый транзистор. акой полярности сигнал необходимо подать на вход стройства, чтобы открыть левый транзистор?

1295. Указать цепи обратной связи в схеме тригра (рис. 137). Что произойдет при обрыве резистора 2, если в исходном состоянии открыт правый транзистор?

1296. Три усилителя имеют следующие полосы пропускания: 10 Гц—20 кГц; 40—100 кГц; 1—3 МГц. Какой з этих усилителей может быть использован в качестве ыходного каскада канала звука в радиоприемнике?

1297. Какие сигналы являются входными и выходными в транзисторном радиоприемнике? Какие помехи вы ожете в этом случае указать?

1298. Определить необходимый коэффициент усиления идеоусилителя в канале передачи изображения телеизора, если минимальный ток передатчика 0,5 мА, ›оточувствительность передающей трубки 100 мкА/лм, минимальный световой поток изображения 0,1 лм.

1299. На выпрямитель с удвоением напряжения, схема которого приведена на рис. 138,*а*, подается переменное напряжение с действующим значением 110 В. Найти напряжение на выходе выпрямителя.

1300. На диодный ограничитель, схема которого приведена на рис. 138,*б*, подается переменное напряжение 6 sin 314*t*, В. Построить график изменения напряжения на выходе ограничителя, если $E=3$ В, $R=50$ Ом;

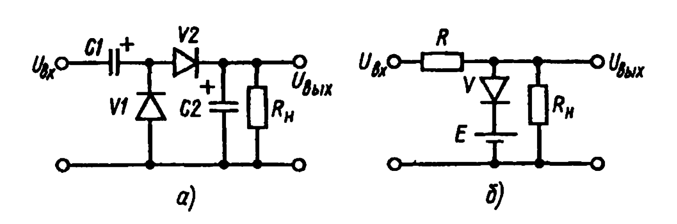


Рис 138. *а*—к задаче 1299, *б*—к задаче 1300

$R_н=1$ кОм, а падением напряжения на диоде в прямом включении можно пренебречь.

1301. При умножении двух электрических сигналов используется равенство $\left(\frac{x+y}{2}\right)^2-\left(\frac{x-y}{2}\right)^2=xy$. Доказать, что выражения, стоящие в левой и правой части, равносильны. Используя рис. 130, составить схему умножения.

1302. Составить электрические схемы простейших дифференцирующей и интегрирующей цепей и пояснить принципы дифференцирования и интегрирования электрического сигнала.

1303. Каковы особенности конструкции полупроводниковых и гибридных интегральных схем? Указать отличия интегральных схем от модулей.

1304. Каковы основные различия между цифровыми и аналоговыми интегральными схемами?

1305. Каковы назначение корпуса интегральной схемы и его отличие от корпусов других полупроводниковых приборов? Указать меры защиты интегральных схем от статического электричества.

1306. Что такое плотность монтажа в электронных устройствах? Как зависит надежность электронной аппаратуры от плотности монтажа?

стимой температуры среды, равной 373 К, необходимо иложить к ней напряжение 20 В. Определить коэффициент $B_т$ терморезистора, который следует последовательно подключить к лампе, если напряжение питаія 40 В, а ток в цепи не должен быть более 10 мА. ›к в цепи при температуре 293 К равен 1 мА.

1291. Как происходит преобразование температуры электрический сигнал в цепи с терморезистором м. рис. 108,*a*)? Каким образом можно произвести настройку цепи на другую температуру среды?

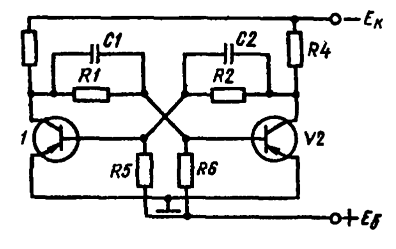


Рис. 137. К задачам 1294, 1295

1292. Определить такую фоточувствительность фотоэлемента, чтобы ток в нагрузке фотоприемника (см. рис. 113,*a*) при световом потоке 0,1 лм составил 10 мкА.

1293. Каков световой поток, при котором произойдет срабатывание реле на фоторезисторе, схема которо› аналогична схеме на рис. 108,*a*, если фоточувствительость 100 мА/лм, а ток срабатывания 10 мкА?

1294. На рис. 137 изображена схема устройства с вумя устойчивыми состояниями — симметричного триг̧ера. В исходном состоянии открыт правый транзистор. ̧акой полярности сигнал необходимо подать на вход стройства, чтобы открыть левый транзистор?

1295. Указать цепи обратной связи в схеме тригера (рис. 137). Что произойдет при обрыве резистора ?2, если в исходном состоянии открыт правый транзистор?

1296. Три усилителя имеют следующие полосы проıускания: 10 Гц—20 кГц; 40—100 кГц; 1—3 МГц. Какой ıз этих усилителей может быть использован в качестве ıыходного каскада канала звука в радиоприемнике?

1297. Какие сигналы являются входными и выходныıи в транзисторном радиоприемнике? Какие помехи вы ıожете в этом случае указать?

1298. Определить необходимый коэффициент усиления ıидеоусилителя в канале передачи изображения телеıизора, если минимальный ток передатчика 0,5 мА, фоточувствительность передающей трубки 100 мкА/лм, ı минимальный световой поток изображения 0,1 лм.

1299. На выпрямитель с удвоением напряжения, схема которого приведена на рис. 138,*а*, подается переменное напряжение с действующим значением 110 В. Найти напряжение на выходе выпрямителя.

1300. На диодный ограничитель, схема которого приведена на рис. 138,*б*, подается переменное напряжение 6 sin 314*t*, В. Построить график изменения напряжения на выходе ограничителя, если $E=3$ В, $R=50$ Ом; $R_н=1$ кОм, а падением напряжения на диоде в прямом включении можно пренебречь.

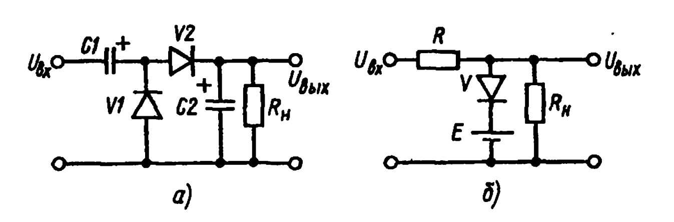


Рис. 138. *а*—к задаче 1299; *б*—к задаче 1300

1301. При умножении двух электрических сигналов используется равенство $\left(\frac{x+y}{2}\right)^2-\left(\frac{x-y}{2}\right)^2=xy$. Доказать, что выражения, стоящие в левой и правой части, равносильны. Используя рис. 130, составить схему умножения.

1302. Составить электрические схемы простейших дифференцирующей и интегрирующей цепей и пояснить принципы дифференцирования и интегрирования электрического сигнала.

1303. Каковы особенности конструкции полупроводниковых и гибридных интегральных схем? Указать отличия интегральных схем от модулей.

1304. Каковы основные различия между цифровыми и аналоговыми интегральными схемами?

1305. Каковы назначение корпуса интегральной схемы и его отличие от корпусов других полупроводниковых приборов? Указать меры защиты интегральных схем от статического электричества.

1306. Что такое плотность монтажа в электронных устройствах? Как зависит надежность электронной аппаратуры от плотности монтажа?

ОТВЕТЫ

ГЛАВА I

5. $5{,}55\cdot10^{14}$ с. **6.** $\pm8{,}25\cdot10^{7}$ Кл. **11.** 2. **12.** На $-3{,}3$ Н. **13.** $3{,}3\cdot10^{-8}$ Кл. **14.** 33 мм от *шара меньшего заряда.* **15.** $8{,}6\times\times10^{-14}$ Кл. **17.** 5. **18.** 0,54 Н; 0,576 Н. **20.** 2,9 Н. **21.** а) $1{,}53\cdot10^{-2}$ Н; $0{,}23\cdot10^{-2}$ Н; $1{,}48\cdot10^{-2}$ Н, б) $1{,}41\cdot10^{-2}$ Н; $0{,}23\cdot10^{-2}$ Н; $1{,}65\cdot10^{-2}$ Н. **22.** $\pm$ 2%. **23.** 0,01 Н; 1 Н. **24.** 221 В. **25.** 2 В/м; напряжение U_{AC} **26.** 10^{-5} Н; $5\cdot10^{-4}$ Н. **27.** -60 В; 0,6 м. **28.** 25 В; 150 В; 0,25 м. **29.** 3 мкДж; 1,5 мкДж. **30.** 10 кВ; 30 кВ; 80 кВ; уменьшится в два раза. **32.** $5\cdot10^{-5}$ Кл; 500 кВ/м. **33.** 0,62 нФ. **35.** $4{,}5\cdot10^{-2}$ м². **36.** 0,557 нФ. **37.** 56,5. **38.** $5\cdot10^{-3}$ м². **39.** $C_{круг}\simeq1{,}27$ $C_{квадр}\simeq1{,}63$ $C_{треуг}$. **40.** 7,25÷38,25 пФ. **41.** 1,65; 1,28; 1,11. **42.** 33÷180 нФ. **43.** 9,5 мм; 9,7 мм; 9,8 мм. **44.** $0{,}5\cdot(1-5{,}5\cdot10^{-3}\alpha)$, нФ; 0,31 пФ/град. **45.** 28 пФ; 18 пФ; 10 пФ. **46.** 50 мДж; 0,1 Дж. **47.** 31,2 мДж; 125 мДж; 281,2 мДж. **48.** 11. **49.** 10 мкФ; 6 мкФ. **50.** -80 пФ. **51.** 0,48 м. **52.** 0,01 мм; $\approx$ 1 пФ.

ГЛАВА II

57. 10 мм². **58.** 3,7 мм. **59.** $1{,}25\cdot10^{15}$; 4,8 мДж. **60.** 31,25 мм/с. **61.** $\pm$ 1%. **62.** а) kt; б) $k_1t+0{,}5k_2t^2$. **65.** 1,5 мм; 0,09 Ом. **66.** 78 Ом; 65 мм². **67.** $3{,}14\cdot10^{-8}$ Ом·м. **68.** 1,57 кОм. **69.** 8 м. **70.** 3,4 Ом. **71.** 50 м. **72.** а) 1,73; б) 0,5; в) 0,315. **73.** $1{,}11\cdot10^{-6}$ Ом. **74.** 2 кОм. **75.** Из фехраля. **76.** 0,635; в 2,1 раза. **77.** 11 кОм. **78.** 10^{-3} 1/К. **79.** $6{,}17\cdot10^{-4}$ 1/К; 265 Ом. **80.** а) 20 мА; б) 40 мА; в) 25 мА; г) 100 мА. **81.** а) 10 В; б) 5 В; в) 2,5 В. **85.** 200 В; 44,6 В. **86.** 80 мА. **88.** 0,336÷0,41 мА. **89.** $\frac{I_0R}{3}\left[(1+t_1^3)-1\right]$. **91.** 9,1 Вт; 31,3 Вт. **92.** 0,5÷4 Вт. **93.** 10 мА, 100 В; 20 мА; 50 В; 40 мА, 25 В. **94.** 2 кВт; 0,05 Ом. **95.** 1,224 В. **96.** 56,1 м. **97.** 6 Ом; 4 Ом. **98.** 0,5 Ом; 1,5 В. **99.** 500 Ом. **100.** Уменьшится на 1,5 мА. **101.** 0,55 мм. **102.** 15 В; 30 Ом; 0,1 А. **103.** 83,5 В **104.** а) 52,4 мА; б) 1,048 В; в) 52,4 мВ; г) 95,3% **105.** $\leqslant$200 Ом. **106.** 16 мВт. **107.** 14 В; 2 Ом. **108.** 50 В; 0. **109.** 2,13 В; 2 Ом. **110.** 350 Ом. **111.** 570 Ом; 0,96 Вт. **112.** 0,1 А; 8 В; 9,8 В; 9 В; 8,4 В. **113.** $R_н=R_{вн}$. **116.** E/R; 0; $-E/R$. **117.** **118.** **119.** а) 3 А; -9 А; 6 А; б) 7,5 А; 0; $-$ 7,5 А. **120.** $\approx$0,5 А; 46,8 Ом. **121.** 0,14 А; 11/6. **123.** 75 мА; 4 В; 11 В. **124.** 12 мА; 12 В; 3 В. **129.** 211 В. **130.** $\geqslant$ 13,9 мм². **131.** 5 В; 8,3 В. **132.** 20 мА; 60 мА. **133.** 0,86 А; 25,8 В; $-0{,}46$ А; $-13{,}8$ В. **134.** 1,09 А. **135.** 30 кОм. **136.** а) 100 Ом; 0,15 А; 9 В; б) 90 Ом; 0,167 А; 10 В. **137.** 46 Вт, 0,36 А; 48 В. **138.** 11,7 Ом. **140.** 0,895 кОм; 2,14 кОм; 3,75 кОм. **142.** $R_1=R_2$. **146.** 20,5 кОм; $\pm$ 4,25%. **147.** 725 Ом $\pm$3,5%. **148.** 14,5 кОм; 1,4 В. **149.** 500 Ом; 3,14 мА. **151.** 16 В. **152.** 40 мА. **153.** 3; 7. **154.** 2,2 В; 1 Ом; 21,8 мА. **155.** $R_н=R_{вн}$. **158.** 600 Дж. **159.** 0,7 А. **160.** 1,95 кОм; 90 кДж. **161.** 64 коп; 1 руб. **162.** 0,33 кВт; 1,5 А. **163.** а) в $R_2=4$ Ом; б) в $R_4=8$ Ом. **165.** 7,27 А; 1,6 кВт. **166.** 0,58 А; 3,3 Дж. **167.** 2,5 Дж; 40 Дж; 160 Дж. **168.** 7,5 мДж. **169.** 293 К; 325 К. **170.** 1293 К; 484 Ом. **171.** 39 К. **173.** 12 А; 60 А; 120 А. **180.** 4 г. **181.** $\approx$2,5 А. **182.** 12 А. **183.** 9,6 ч. **184.** 75 Ом. **185.** 7,5 А; 17,5 с; 130 с; 1480 с. **186.** 0,5 А; 5 г. **187.** 6 А; 30 А; 6 А. **188.** $-7{,}4$ мкА/К.

189. 9,5 ч; 5,4 ч; 4,2 ч. **190.** 19 ч; 39 ч; 23 ч. **191.** 3,5 ч. **192.** Серебро. **193.** В 3,3 раза **194.** а) 2 г; б) 1 г. **196.** 166 А, 16,65 $м^2$ **198.** а) калий; б) цинк; в) золото. **199.** До удаления ионов меди; до растворения анода. **201.** Катод — темно-серого цвета, анод — бурого цвета. **203.** 250 ч; 25 ч; 2,5 ч. **206.** Цинк, хром.

ГЛАВА III

207. 2 Н. **208.** $2{,}22\cdot10^{-4}$ Гн/м; 177. **209.** 10 А. **210.** 0,1 Тл. **211.** 0,25 м. **212.** $1{,}6\cdot10^{-4}$ Вб. **213.** $6{,}28\cdot10^{-4}$ Гн/м. **214.** 1-й и 3-й материалы. 215. 0,118 Тл. **217.** 0,32 Тл; 0,14 Тл. **218.** 0,45; 2; 2,83. **219.** $6{,}5\times\times10^{-5}$ Вб ± 4%. **220.** 10 Н. **221.** 590 $мм^2$; 715 $мм^2$; 1100 $мм^2$ **222.** 3,2 А/м; $4\cdot10^{-6}$ Тл. **223.** 20 А. **224.** 1,8 А/м; 1,4 А/м. **226.** $\geqslant$ 0,4 м. **227.** 1,73 Н; 1,25 Н; 1,25 Н. **228.** 0,28 м. **229.** $F_A=F_B=3{,}35$ Н; $F_C=F_D=1{,}75$ Н. **230.** 0,8 Н. **231.** 2000 А. **232.** 750 А/м. **233.** 1350 А·витков. **234.** 1 А/$мм^2$. **236.** $8\cdot10^3$ А/м; $2\cdot10^3$ А/м. **237.** 415 А/м. **238.** 14 А. **239.** а) 1,4 Тл; б) 1 Тл; в) 0,4 Тл. **241.** 32 м; 40 м. **242.** 0,02 Вб. **243.** 1000 1/Гн. **244.** 1000 витков/м. **245.** $3{,}15\cdot10^3\div\div4{,}75\cdot10^4$ 1/Гн. **246.** $6{,}25\cdot10^6$ 1/Гн. **248.** $1{,}3\cdot10^6$ А/м; $1{,}63\cdot10^{-4}$ Вб. **249.** 568. **252.** 3 А; 6 А; 12 А. **253.** 7,85 А; 810. **254.** 1 Тл. **255.** 1,2 кН. **256.** 1 кН. **257.** 5 Н. **259.** 40 Н; 4 кН; 25 кН. *260.* 88 Н. *261.* 13 А. *265.* 0,9 В. *266.* $6\cdot10^4$ А/м. **267.** 0,24 м. **268.** 0,675 Н; 1,125 Тл. **269.** 40 м/с. **271.** $5\cdot10^{-5}$ Тл. **272.** 50 sin 5t, мВ. **273.** 1,8 Тл. **274.** В 1,43 раза. **275.** 63,5° **276.** −2 Вб/с. **277.** −1,25 Вб. **278.** 12,5 А. **279** $2\cdot10^{-4}$ Вб; 0,5 В; **280.** 0; −2,5 В; 25 В. **283.** −2 В. **284.** $4\cdot10^{-3}$ Вб; 0,2 Тл. **285.** $\leqslant$ 5000. **286.** 20 мА; 10 мВ. **287.** $2{,}1\cdot10^{-3}$ Вб. **288.** $-40e^{-2}$, мВ. **289.** 50 мГн. **290.** $1{,}1\cdot10^{-5}$ Вб; 3 мГн. **291.** 3 мГн. **292.** 2500. **293.** 6,2 Гн. **295.** 0,11 А; −0,75 В. **296.** 0,15 Гн. **297.** 0,25. **298.** 0,425 ÷ 0,47 мГн. **299.** $20e^{-2t}$, мВ. **300.** 0,25. **301.** 11,9 ÷ 9,7 мГн; 3,5 ÷ 2,9 мГн. **303.** $L_2=k^2_{св}L_1$. **304.** 10,7 В; 10,7 Вт. **305.** 5,4 Н·м.

ГЛАВА IV

307. 20 м; 50 Гц; 2,5 мс. **308.** 7,2° **309.** 0,8 А **313.** 110sin 314t, мВ; 3,1 sin 314t, А. **314.** 1,6 Гц, 3,2 Гц, 6,4 Гц; 0,628 с, 0,314 с, 0,157 с. *318.* 628 рад/с. *319.* 0,25 π/ω. *320.* 64,6 В; 54,6 В. *321.* $\psi_1-\psi_2==(2k-1)\pi$. **322.** 0,5 $(k-1/6)$, мс. **326.** а) 6000 ÷ 600 км; б) 300 ÷ 30 км; в) 3000 ÷ 30 м. **328.** 300 sin (628t + 50°), В; 130 sin (628t + 85°), В. **329.** а) 1,8 sin (628t + 60°), А; б) 0,7 sin (628t − − 45°), А. **330.** $u=120\sin(314t+37°)$ В. **331.** $i=14{,}6e^{j60°}$, А. **332.** $5{,}8e^{-j30°}$ Ом; 8,6 $e^{j110°}$, Ом. **335.** 10 А; 120 В; 12 Ом. **339.** $I=I_m/\sqrt{2}$. **340.** $I_{m1}=I_{m2}/\sqrt{3}$. **341.** 593 К. **342.** 8,5sin (314t − − 45°), мА. **345.** −16 Ом. **347.** 35,6 $мм^2$. **348.** 640 Ом; 160 Гц. **349.** 40 нФ. **350.** 0,195 sin (628t + π/2), А. **352.** 3 ÷ 3,2 мА; 33 ÷ 35,2 мА; 66 ÷ 70,4 мА. **353.** −33,8 sin 100t, мА; 2,8 вар. **355.** 0,375 мА; 0,14 мА; 0,11 мА. **356.** 7,6 мкФ. **357.** 6,8 sin (2500t − π/2), А. **358.** 3,14 Ом; 0,32 мГн. **360.** 800 Гц. **361.** 31,4 sin (314t + π/2), В; 10^{-3} sin 314t, Вб. **362.** 1,57 sin (314t + π/2), В; 1,11 В. **363.** 3,5 А; 14 А; 31,5 А. **364.** 36 В; 20 В; 16 В. **365.** 3 ÷ 3,3 А; 6 ÷ 6,6 А; 9 ÷ 9,9 А. **366.** −1,42 sin 100t, В; *100 вар. 371. 10 sin (314t − 45°), мА; 320 sin (314t − 135°), мА;* 31,4 sin (314t + 45°), мА; 7,1 мА, 226 мА, 22,2 мА. **372.** 400 Ом; 0,64 Гн, 4 мкФ. **375.** 150 В; 168 В; 94 В; 54 В. **376.** 1,7 мкФ. **377.** 0,5 А; −0,22 А. **378.** 0,115 А; 66 мА; 0,14 А. **380.** 6,5 sin (314t − 78,5°), мА. **381.** 10 sin (314t − 136,5°), А. **383.** 16 кГц; 25,5 пФ **384.** 2,55 мГн. **387.** 1 Гн; 20 мс; $6\cdot10^6$ м; 31,4 sin (314t − π/2), мА. **388.** 7,07 кГц; 5 кГц; 31,6 кГц. **389.** 500 кГц; 158 кГц; 91,5 кГц. **390.** 4,65 ÷ 5,45 кГц.

392. 21,3 А; 106,5 В; 2,25 кВ·А; 2,1 кВт; 0,77 квар. **394.** 22 Вт. **395.** 970 Вт; 760 Вт. **396.** 70,5 мА. **397.** 10 мкФ; 60,5 Вт. **398.** 215 В·А; 105 Вт; 182 вар; 7,7 А. **399.** 1,1 кВ·А; 0; 11 квар; 1,1 кВ·А; 1,1 кВт. **400.** 0,4. **401.** 0,71. **402.** а) 10,6 Вт; −12,4 вар, 16,3 В·А; б) 25 Вт, 0,25 В·А; в) 10,6 Вт; 12,4 вар; 16,3 В·А. **403.** 1,5 Вт; 5 вар; 6 В·А. **404.** 1,98 руб. **406.** R. **407.** 15 Ом. **408.** 0,73 А. **409.** а) 2,13 кОм; б) 0,4 кОм. **410.** 2,2 C. **411.** 4.3 мкФ. **412.** Увеличится в 1,5 раза. **413.** 0,215 А; 47,5 вар; 146 мДж. **415.** 0,071 мкФ; 0,238 мкФ; 0,244 мкФ. **417.** $C_1 = C_2$. **419.** 1,6 мкФ ± 2,2%; 18 мкФ ±1,7%. **420.** 0,66 мкФ. **421.** 16,5 мкФ. **424.** 6,28 Ом; 0,566 Ом **425.** 15 мГн, 1,48 мГн **426.** 3,45L. **427.** 23,2 Ом; 8,2 Ом. **429.** $L_1 = 7{,}87 L_2$; $L_1 = 0{,}13 L_2$. **430.** 1,03 мГн ± 3,2%. **431.** 0,6Гн. **432.** 0,167 Гн. **434.** 45 В; 320 В; 324 В. **435.** 16,6 мкФ. **436.** 5,25 кОм; 1, 47 кОм. **437.** 10 sin 314t + +31,4sin (314t + π/2), мА. **439.** 3,679 В; 1,353 В; 67,4 мВ; 0,6931 мс. **440.** 0,2U_0; U_0. **442.** 22 Ом, 62,5 мГн. **443.** 10 А; 150 В; 157 В; 47°. **444.** 4.4 sin (314t −46°), А. **446.** 2,55 кГц. **447.** 31,5 ÷ ÷94,5 Ом. **448.** 46 Ом; 161 мГн. **450.** 60,65 В; 22,31 В; 8,208 В; 0 с. **451.** а) 68%; б) 96%. **452.** а) −96 Ом; б) 105 Ом. **453.** 110 В. **454.** 5,8 sin (314t − 31°), В. **456.** 33.5 Ом ±0,45%. **458.** 17,2 Ом; 12,8 А. **459.** 149 Ом, 44,7 В. **460.** 152 $e^{j8{,}5°}$, Ом, 1,45 $e^{-j8{,}5°}$, А. **462.** 135 Ом; 110 В. **463.** 110 В; 0; −65°; −145°; −170° **464.** 42 Ом; 41,5 Ом; 4,5 Ом. **465.** 14,7 Ом; 7,15 Ом; 16,4 Ом; 7,75 А. **466.** $1/(2\pi\sqrt{LC})$ в обоих случаях. **467.** $\sqrt{LC} = 0{,}16$ мс. **469.** 1,4 ÷ 1,8 кГц. **470.** 15,7; 40 Вт. **471.** 0,06; 0,2 Вт. **472.** ⩽ 1,65 Ом. **473.** 60 В; 20 В; 12 В; 0. **474.** 1 В; 3 В; 4,5 В. **475.** 1,97 А. **476.** 5,9 В. **478.** а) 0,79; б) 0,99; в) 0,9. **479.** 480 мкФ. **480.** 280 мкФ. **486.** 220sin 314t, В; 220sin(314t −240°), В. **487.** а) 41 А; 220 В; б) 71 А; 380 В. **488.** а) 82 А; 127 В,б) 141 А; 220 В. **489.** 153 А, 108 А, 107 А, 380 В; 0,56; 0,196; 0,485. **490.** 212 А, 153 А, 131 А; 0,289; 0,555; 0,298. **491.** 43 В; 25 В. **492.** 0,7 А; 0,4 А. **493.** 0,02 Ом. **497.** 10 Ом; 18 Ом. **498.** 45,5 А. **499.** 21 А, 27,5 А; 58°; 64°. **500.** 16,2 МДж. **502.** 0 в обоих случаях. **505.** 660 А. **510.** а) 34,1 А; 220 В; б) 17 А; 110 В. **511.** 10 А; 5,8 А. **512.** 12,5 кВт; 10,4 кВт; 8,5 кВт; 6 кВт. **513.** 0,65 кВт; 9,55 квар; 9,6 кВ·А. **514.** 10 кВт **516.** $Z_{ф\Delta} = Z_{фY}$

ГЛАВА V

525. 0,07 А; 1,34%. **526.** 0,1 В; 0,52%. **527.** 0,66%. **528.** 2,4%. **529.** −0,5 В; 3,57%. **530.** 0,2 А; 5% **531.** 0,565%; 1%; 2%, 10%. **532.** 11,2 ÷ 11,8 А. **533.** ±0,1 В; ±1,6% **534.** 7%. **535.** −0,02 А **537.** 0,1 А. **538.** 5. **541.** 1 дел/мА; 1 мА/дел. **542.** $c_{x1}/c_{x2} = 1{,}75$; $s_{x1}/s_{x2} = 0{,}57$. **543.** 100; 2 мА/дел; 60 мА. **544.** 2 мА/дел; 0,5 дел/мА. **545.** 1,33 мА/дел; 0,75 дел/мА. **547.** 1 А; 5 мА; 10 мА/дел; 0,1 дел/мА. **548.** а) 7,1 А; б) 8,15 А; в) 5 А. **549.** а) 100 В, б) 4,65 кВ; в) 10 В. **550.** а) линейная шкала; б) квадратичная шкала; в) логарифмическая шкала **553.** 1,9 Вт; 19 Вт; 57 Вт. **554.** 10 дел/мкА; 0,25 мкВт. **555.** 54° **556.** 8,9 мВт **557.** Магнитоэлектрической системы. **558.** 3. **560.** $3 \cdot 10^{-3}$ Н·м. **561.** 0,5; 1,5; 2. **562.** 50 мВ; 0,1 В; 0,5 В, 1 В; 2,5 В. **563.** 1,5 с; 3 с; 6 с. **564.** $5{,}4 \cdot 10^8$ В/м; $2{,}7 \cdot 10^8$ В/м; $1{,}8 \cdot 10^8$ В/м. **570.** 1%. **571.** 1,095 кОм. **573.** 11,6 мА; 0,3 мА, 2,5%. **575.** ⩽0,02 Ом; 2,2 А. **576.** ⩽5,3 Ом, ⩽6,22 Ом; 0,42 А, 0,35 А. **577.** 2,33%. **578.** а) 0,3 А; б) 0,5 А. **579.** ±1,5%; ±1,625%; ±1,75%, ±1,625%.

580. 100 А; 5; 7; 8. **581.** 10 А. **583.** 1%. **584.** 555 В. **585.** 1%. **586.** 6 В;

0,04 В; 0,66%. **588.** ⩾267 Ом; 9,25 В. **589.** ⩾3,14 кОм; ⩾3,14 кОм, ⩾6,38 кОм; 117 В; 117 В; 173 В. **590.** 2,86 пФ. **591.** 300 В. **592.** 814 В. **593.** 2,4 В. **594.** 3,54 мм; 7,9 мм; 11,2 мм. **595.** 50°. **596.** 0,99%; 1,2%; 1,39%; 0,099%. **597.** 600 В; 1; 2; 3. **599.** 1 А; 50 В. **600.** 245 кОм. **601.** 8 В; 4,8 А. **602.** 3,3 А. **603.** 2 Ом. **604.** 9; 99; 999. **605.** $2{,}22\cdot10^{-3}$ Ом; 0,2 В. **606.** 293±83 К. **607.** 30 мм; 0,024%. **608.** 40 В. **609.** 1/9; 1/99; 1/999. **610.** 700 кОм; 5,5 мВт; 63 мВт. **611.** 440 м; 90 мВт. **614.** 200 А; 3 кВ. **615.** а) 5 А; б) 3,75 А; в) 1,25 А; 6,25%. **616.** а) 100 В; б) 50 В; в) 3 В; 5%. **617.** ⩽7. **618.** 1 МОм. **619.** 0,72%. **620.** 0,5%; 0,442%; 0,63%; 0,4%; 0,55%. **621.** ⩾1,5 кОм. **622.** ⩾150 Ом. **623.** 1 Ом; 0,2%. **624.** 24,5 Ом. **625.** 1 кОм. **626.** 0,67%; 0,33%. **628.** 0,138 Ом; 22 кОм. **629.** 58,8 Ом; 60,3 Ом. **630.** 90±3 Ом. **631.** 101 Ом; 8,15 Ом. **632.** 3 кОм; 10 кОм. **633.** 40 Ом. **634.** 1,2 В. **635.** 7,6 Ом. **636.** 40 Ом. **637.** 0,25÷4 кОм. **638.** 1,66 кОм; 83 Ом. **640.** 2,33 кОм. **641.** 125 Ом. **642.** 1,25 кОм. **643.** 1,05 МОм; 0,5 МОм. **644.** 12 МОм. **646.** 500 В. **650.** 98 Вт. **651.** 1 кВт±3%. **652.** 1,05÷1,24 кВт. **655.** 1,095 кВт; 0,467%. **656.** 1,089 кВт; 1,011%. **658.** 6 мА. **662.** −550 Вт; 950 вар. **663.** 320 В · А; 220 Вт; 248 вар; 0,625. **664.** 0,5±6%. **665.** 50 Вт/дел; 0,02 дел/Вт. **666.** 635 Вт; 1905 Вт. **667.** 4,4 кВт; 127 В. **668.** 2,7 кВт; 5,7 кВт; 8,4 кВт. **669.** 620 вар. **670.** 5,2 кВт. **671.** 400 Вт. **672.** 72 кВт. **673.** 2,5 А; 50 В; 87,5 Вт. **674.** −200 Дж; 1,52%; 1,015. **675.** 785,9 кВт·ч. **676.** 1975^{+15}_{-25} Дж. **677.** 24 кДж. **678.** 28 с. **679.** 150 Вт. **680.** 10 Вт·с/об. **684.** 59,5 мГн; 0,845%. **685.** 31 мГн. **686.** 32 мГн±5%. **687.** 280 Ом; 22 мГн. **688.** 115 мГн; 18. **689.** 16 мкФ. **690.** 0,22 мкФ±5%. **691.** 82 Ом; 6000 пФ. **692.** 60 кОм; $Q=50$; $\operatorname{tg}\delta=0{,}02$. **693.** 80 мГн; 1,5 мГн; 1,85%. **694.** 0,2÷5 мГн. **695** 1,43 мкФ. **696.** 0,1÷10 мкФ. **697.** 100 мкФ±0,1%. **698.** 13,4 Ом; 0,151 Гн. **699.** 14,75 мкФ. **700.** 145 Ом; 216 мГн. **701.** 45 Ом; 21,8 Ом; 50 Ом. **702.** 0,116÷0,18 Гн; 56÷88 мкФ. **703.** 0,495 Ом; 2,2 Ом; 7 мГн; 4%. **704.** 16,7 мм; 25 мм; 33,3 мм. **705.** 3,2%; 6,2%; 1,7%; 3,2%. **707.** 160 Ом; 240 Ом; 330 Ом. **708.** 6,77 В; 6,26 В; 5,69 В. **709.** ⩾5. **710.** 46,5 мА; 42,5 мА; 39 мА. **711.** 315 К; 545 К; 15,75 мА; 13,7 мА. **712.** 0,21 К. **713.** −94 мА; −0,04 мА; 1,41 мА. **714.** 1°/кПа; $1{,}75\cdot10^{-2}$ 1/кПа. **715.** 2,5 мВ. **716.** 50 мА; 100 мА; 250 мА. **718.** 30 кПа. **719.** 8 с; 6 с; 2 мА·с/м. **720.** 0,79 мА·с/м; 0,5 мА·с/м; 0,395 мА·с/м. **721.** 0,1 vt,А. **722.** 90 мкФ. **723.** $E_0\cos\psi$. **724.** 0,99 В; 0,93 В; 0,4 В; −0,5 В; 0,2 В. **726.** $10\sqrt{1+10l^2}$, Ом. **727.** 0,125·(1−α/180°), мА; — 0,7 мкА/К. **728.** 4,8 В; 9,5 В; 19,4 В; 0,6 В/мм. **729.** 1 А; 0,6 А; 0,5 А. **730.** 25 мВ·мин/об; 4 об/мин. **731.** $20\pi n_0e^{-10t}$; 1 В·с/рад. **733.** 3,46 мА; 2,5 мА; 1,36 мА. **734.** 50 мкА; 70 мкА; 1,83 мА; 4 мА. **735.** 5 А/м; 13,2 А/м; 63,5 А/м.

ГЛАВА VI

737. 220 В. **738.** 990. **740.** $1{,}8\cdot10^{-2}$ Вб; $3{,}45\cdot10^{-2}$ Вб; $3{,}22\cdot10^{-2}$ Вб. **743.** 60. **744.** а) 10; б) 1/5. **745.** 11; 2; 1/3; 1/5. **746.** 2. **747.** $1{,}33\cdot10^{-3}$ м². **748.** 4; 2; 1,3. **749.** 12000. **750.** 50; 7,5 кВ. **751.** 100. **752.** 10; 20; 1/2. **753** 2; 5%. **754.** 10,5; 36 В. **756.** 98%. **757.** 310 Вт. **758.** 18 В·А; 35. **759.** 100 кВ·А. **760.** ⩾11,4 мм²; 97%. **761.** 12,3 кВт; 15 кВт; 17,1 кВт. **762.** 97%. **763.** 7,8 кВт; 0,91. **764.** 53 А; 16 кВт; 495 Вт. **765.** 0,94. **766.** 0,58. **767.** 19,7 А; 0,94. **768.** 0,63. **769.** 96%; 1,78 кВт. **770.** ⩽10 кВ. **771.** ⩾0,14 кг/с. **774.** 7,5; 1125. **775.** 1,1 кВ; 2 А. **776.** 500; 250. **777.** 240 В; 0,98. **780.** 11 В. **781.** 220 В. **782.** 2,88%; 4,1%. **786.** 25 Вт; 49 Вт; 81 Вт. **787.** 94%; **788.** 150 А. **789.** 0,63. **790.** ⩾4мм²; ⩾20 мм². **791.** 0,955. **792.** 280 Вт. **793**, **794**. Уменьшится в два раза. **795.** 13,9 А;

126 А. **799.** 2%. **800.** 0,9. **801.** 1%; 3,8%; 4,98%; 0,24. **802.** 715 В. **803.** 5000 А; 100 А. **804.** 31,2 т; 7,8 т. **807.** $Y^{\sim}/Y$. **809.** 95%; 94,8%; 95,1%. **810.** 96%; 1,32 кВт. **811.** 1,3%. **812.** 2500; 250. **813.** 21,7 А; 0,83 А; 66; 1800 **814.** а) 380 В; б) 220 В; в) 220 В. **815.** Δ/Y; Y/Y или Δ/Δ; Y/Δ. **816.** Невозможно во всех случаях. **817.** 99,5÷100,5. **818.** 0,9÷1,1. **819.** $S_1 = 1{,}08\ S_2$. **820.** 33 кВ·А; 39 кВ·А. **821.** 3,8 кВ·А. **822.** Недоиспользована $\Delta\ S_2 = 50$ кВ·А. **823.** а) 50 кВ·А; б) 100 кВ·А. в) 25 кВ·А. **829.** 2,2 В; 22 В; 110 В. **830.** 20 А; 10 А. **831.** 24 А. **832.** $w_2 = 1200$. **833.** 395; 790; 1580. **834.** 55 В; 110 В; 220 В. **835.** На 5 мм^2. **836.** 62 мА; 152 мА; 90 мА. **837.** 2,5 А; 2,5 А. **839.** 120 Ом. **840.** 2. **841.** 0,2 кВ·А; 0,8 кВ·А; 1,25. **842.** 0,33; 0,5; 0,9. **843.** 0,67±2%.

ГЛАВА VII

845. 6,6%. **846.** 1500 об/мин. **847.** 0; 1000 об/мин; 2000 об/мин; 3000 об/мин. **848.** 0,53. **849.** −0,8; 0,4; 0,55. **850.** 5. **851.** 1200 об/мин. **852.** 2,7%; 4. **853.** 51 Гц; 765 об/мин. **854.** 1425÷1495 об/мин. **855.** 50 Гц. **856.** 100. **857.** $E_2 = 4E_1$. **859.** а) 220 В; 128 В; б) 220 В; 2,8 В. **860.** 10 В. **861.** 9,8 Ом. **862.** 3,6 Ом. **863.** 0,0385 Ом. **864.** 9,5 А; 10,5 А. **865.** 0,79 А; 10,5 В; 7,9 В. **866.** 3. **867.** 5,43÷4,65 А. **868.** 3,19 А; 14,3 А; 21,4 А. **869.** 0,155. **870.** 8,6 Н·м. **871.** 18,4 Н·м. **872.** 5,25 кВт. **873.** 50 кВт; 330 Н·м. **874.** 15,5 кВт; 19 кВт. **875.** ±10%. **876.** 87%. **877.** 83,5%; 0,865. **878.** 364. Вт. **879.** 84%. **880.** 0,02; 92,5%. **881.** 7,15 кВт; 15,8 А; 15,8 А. **883.** 5,5 кВт; 91%. **884.** 0,13. **885.** 1405 об/мин. **886.** 10 Н·м. **891.** 0,1; 0,4. **892.** а) $0 < s < 1$; б) $s < 0$; в) $s > 1$. **895.** $M = 0{,}81M_0$. **897.** 1000 1/с^2. **898.** 632 об/мин; 865 об/мин; 993 об/мин; 0,693 с. **899.** 66,3 1/с; 90,8 1/с; 104,2 1/с. **903.** $\phi = \Phi_m$; Φ_m. **905.** 4 мин. **909.** 1с. **914** 1,4 кВт. **915.** 6; 4; 2. **916.** 2,5 оборота. **918.** 750 об/мин. **919.** 6. **920.** 400. **921.** 1000 об/мин; 120 об/мин **922.** 377 м/с. **925.** 230 В. **926.** 33 **927.** 21. **930.** 93 кВт. **931.** 1,78 МВт. **932.** 5,027 МВт. **933.** 0,25 Ом. **934.** В 1,6 раза. **935.** 16,8 кН·м. **936.** а) 640 кН·м; б) 8400 кН·м; в) 800 Н·м. **937.** 42 Н·м. **938.** 16 кН·м±10%. **939.** а) 57 А; б) 33,5 А. **940.** 95,5%. **941.** 45 кВт; **942.** 141 кВт; 0,96. **943.** 89%; 45 кВт. **944.** 0,67 Ом; 400 В. **946.** ⩽20 А; ⩽30 А; ⩽40 А. **948.** 345 В. **949.** 2,5 мА. **950.** 240 В; 228 В; 222 В; 216 В. **952.** 4 мин. **953.** 0,78 Ом. **954.** 1 Тл. **957.** 368 об/мин; 135 об/мин; 6 об/мин; 0,69 с. **960.** 6,25 Н·м.

ГЛАВА VIII

964. 225 В. **965.** 113 В; 150 В; 225 В. **966.** 12. **967.** 750 об/мин. **970.** 220 В. **971.** 146 А; 204 А. **972.** 4,4 В; 138 В; 210 В. **973.** 1050 об/мин. **974.** 6 А; 186 А. **975.** 222 В. **976.** 5,5 Ом. **977.** 0,4 Ом. **978.** 235 В; 230 В; 215 В; 24; 12; 8. **979.** От 60 до 140 В. **980.** 233 В. **981.** 30 В; 60 В; 150 В. **982.** 9,6 А; 115 В. **985.** 21 А; 11 А; 4,5 А. **986.** 20,5 А. **987.** 115 В± ±3%. **992.** 10,8 кВт. **993.** 42,5 А. **994.** 5,5 кВт. **995.** 0,8 Ом. **996.** 1,11 кВт. **998.** ⩾0,4 А. **1004.** >0,25 мм. **1005.** 0,0378 Вб. **1006.** 0; 220 В. **1011.** ⩽230 В. **1012.** 8. **1013.** ⩾60 Ом. **1014.** 1330 об/мин. **1015.** 120 В. **1016.** 0,46 Ом. **1019.** 5,5 кВт. **1020.** 6,1 кВт. **1021.** 50 Вт. **1022.** 400 В; 8 кВт; 8,8 кВт. **1023.** 44 А; 1,21 кВт. **1024.** 91%. **1025.** 87,5÷90%. **1026.** 90+0,1%. **1027.** 28÷36 Н·м. **1028.** 100 А/с. **1037.** 0,33 Ом; 1,2 Ом. **1038.** 0,5 Ом. **1039.** 4,5 Ом. **1041.** 3030 об/мин; 2970 об/мин; 2925 об/мин. **1043** ≈0,5 с. **1048.** 342 К. **1049.** 420 Н·м. **1051.** 10 А. **1052.** 847 об/мин; ⩽1,08 Ом.

ГЛАВА IX

1056. 0,073 мА/мм^2; 0,635 мА/мм^2; 3,965 мА/мм^2. **1057.** 3,33 мкА/м^2; 11,5 мА/м^2; 13,5 А/м^2. **1058.** 1,9 А/(мм^2·К^2); 26 500 К. **1059.** 9350 м/с; 2,6 мкс. **1060.** $2{,}56\cdot 10^{-13}$ Н. **1061.** 1) 2 мА/В; 2) 2 мА/В. **1062.** 12,6 Ом; 3,15 Вт. **1063.** 220 мА. **1064.** 0,95 кОм. **1065.** 5 Дж; 3,6 Дж. **1066.** 0,35 А; 1,33 А; 1,85 А. **1067.** 3/2. **1068.** 2 кОм; 0,5 мА/В. **1069.** В 1,25 раза. **1072.** 50; 25; 100. **1073.** 20; 1 кОм. **1074.** 80. **1075.** 2 МОм. **1076.** Для точек *A, B, C:* 17 кОм; 59 мкА/В; 1,25 мА/В; —22. **1078.** 3 мА; 100 В. **1079.** 5 В; 2 В; 1 В. **1080.** Для точек *A, B, C:* 140 кОм; 7,2 мкА/В; 6 мА/В; 840. **1082.** 15 мА; 150 В. **1085.** 20 мм. **1086.** (50, 100); 67 мм. **1087.** 6 В. **1088.** 141 В. **1089.** 3 В. **1096.** Увеличится: а) на 0,9 В; б) на 40 мА. **1097.** 20 Ом. **1098.** 0,1 А; 0,3 А. 0,5 А. **1100.** 20 В. **1101.** 2,5 Вт; 33,3%. **1102.** 150 В. **1103.** 100 мкА; 70 мкА; 40 мкА. **1104.** 15 мкА. **1105.** 10 мА. **1106.** 270 кДж; 3 Ом. **1107.** 2,4 А. **1108.** —10 В. **1113.** 312 К; 293 К. **1114.** 5700 К; —6%/К. **1115.** 1,05÷1,95 кОм. **1116.** 4 мА; 10 В. **1118.** 390 м/с; 135 м/с. **1119.** 79 В; 1 В. **1120.** 0,5 кОм. **1121.** $\leqslant$370 К. **1122.** 3830 К. **1123.** 2,3 мА; 12 мА; 16,8 мА. **1124.** 1 мА/мВ^{1,7}; 1,7. **1125.** 150 мА; 78 мА; 30 мА. **1126.** 79 В; 59 В; 39 В. **1127.** 7 мкА; 282 В; 177 В; 141 В. **1128.** 0,1 А, 0,2 А, 0,125 А; 0,425 А. **1129.** 2 пФ. **1130.** 52÷35 пФ. **1132.** 0,425 мА; 0,283 мА; 0,225 мА. **1133.** 60. **1134.** 1 мА. **1135.** 313 К. **1136.** 0,2 мА; 10,25 мА. **1137.** 1 кОм. **1138.** 10 мкА; 0.97. **1139.** 0,98; 49. **1140.** 9,63÷19,62 мА. **1141.** 2,55 мА; 2,63 мА; 75 мкА. **1142.** 0,98; 0,987; 0,99. **1143.** 0,98±0,2%. **1144.** 40. **1145.** 9,5 мА; 20 В; 0,95. **1146.** 0,1 мА; 10 мА; 40 В. **1150.** 2 мА; 20 мА. **1155.** 20 мкА/лм; 70 мкА/лм; 150 мкА/лм. **1156.** 0,1 лм. **1157.** 50 В; 1000 В/лм. **1159.** а) 2 мкА; б) 0,66 мкА. **1161.** 1 лм. **1162.** 10^{-3} А/мм^2; $2\cdot 10^{-3}$ А/мм^2. **1163.** Уменьшилась в 5 раз. **1165.** 50 мкА/лм. **1166.** 9 мкА; 13 мкА; 18 мкА. **1170.** 0,025 лм. **1171.** 80 мкА. **1172.** 60 мкА/лм; 40 мкА/лм; 50 мкА/лм. **1173.** 20 мА/лм. **1174.** 0,015 лм. **1175.** Уменьшится в 10 раз. **1176.** 3,75 мкА. **1177.** 0,2 лм; 5 МОм. **1178.** 63,5 мА. **1179.** 5 мА/лм; 18 мкА/лм. **1180.** $I_ф = 32\ I_с$. **1181.** Увеличится в 2 раза; увеличится в 4 раза. **1182.** 91 мА/лм. **1183.** 0,25 лм; 0,13 лм; 0,06 лм. **1186.** 10 кОм; 1 кОм. **1187.** 1,43; 0,715. **1188.** $1{,}25\cdot 10^5$. **1190.** 222 В; 78,8 мА. **1191.** 111 В, 55,5 мА; 111 В, 39,5 мА. **1192.** 74 В; 52,7 мА. **1193.** 32 В, 32 мА; 32 В, 64 мА; 64 В, 64 мА; 95 В, 86 мА. **1194.** 15 В; 63 В; 100 В. **1195.** 455. **1197.** 9 кОм. **1200.** 16 мкФ; 36. **1201.** 0,366 Гн. **1202.** 7,5. **1203.** 9,4. **1204.** 40. **1206.** 1,6÷0,2 кГц. **1207.** 1,6÷4,8 кГц. **1208.** 50 пФ; 5 мкФ. **1210.** 480 Ом. **1211.** 6 мА. **1212.** 20; $\geqslant$500 Ом. **1213.** 101; 21; 11. **1214.** ±0,625%. **1215.** Увеличится на 5 В. **1216.** а) 10; б) 5. **1217.** 1 кОм; 30. **1220.** 74,5%. **1224.** 10; 25; 250. **1225.** а) $\leqslant$10 мкА; б) $\leqslant$50 В. **1227.** 4÷15 кГц; 55%. **1229.** 83,5%. **1230.** 85% **1231.** 90 Ом. **1233.** 20 А. **1234.** 0,316%. **1236.** 10^6. **1237.** 625. **1238.** 2; 20; 200. **1239.** 0,5 А. **1240.** 12÷41%. **1241.** 0,051. **1242.** 0,275. **1243.** 57%. **1244.** 0,025. **1245.** 0,067. **1246.** 50. **1247.** 29,6; 11,1; 91. **1255.** —0,5 В; —1 В; —5 В. **1256.** 0,5 В. **1260.** 0,254 мГн. **1261.** $\geqslant$0,16 Гн; $\leqslant$6,4 нФ; 5 МОм. **1262.** 8. **1263.** 1,6 кГц; 100; 100 Гц. **1264.** 188÷845 м. **1265.** 28,6÷35 Ом; 2,6÷3,9; 1,2÷1,9 кГц. **1267.** 0,91 мкс; 9,1 мкс; 11; 2; 1,1. **1272.** 97 кГц. **1279.** 26 кОм. **1287.** $\geqslant$40. **1288.** 2 мА. **1289.** 50 мкФ. **1290.** 4000 К. **1292.** 100 мкА/лм. **1293.** 0,1 лм. **1298.** 50. **1299.** 310 В.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Электрические, магнитные и механические величины и параметры, единицы их измерения в Международной системе (СИ)

Наименование	Единицы в Международной системе (СИ)		
	название	размерность	обозначение
1	2	3	4
Длина	метр	м	l
Площадь, поверхность	кв. метр	$м^2$	S
Объем	куб. метр	$м^3$	V
Масса	килограмм	кг	m
Время	секунда	с	t
Скорость	метр в секунду	м/с	v
Сила	ньютон	Н	F
Работа	джоуль (ватт-секунда)	Дж	W
Количество теплоты	джоуль	Дж	Q
Температура	кельвин	К	T
Угловая скорость, угловая частота	радиан на секунду	рад/с	ω
Плоский угол	радиан	рад	α, ψ, φ
Момент силы	ньютон-метр/ (джоуль)	Н·м	M
Мощность активная	ватт	Вт	P
Мощность реактивная	вольт-ампер реактив.	вар	Q
Полная мощность	вольт-ампер	В·А	S
Напряжение, электродвижущая сила	вольт	В	U, E
Ток	ампер	А	I
Плотность тока	ампер на кв. метр	$А/м^2$	j
Заряд, количество электричества	кулон	Кл	g
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м	$E_п$
Емкость	фарада	Ф	C
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	фарада на метр	Ф/м	$\varepsilon_а$
Сопротивление	ом	Ом	R
Удельное сопротивление	ом-метр	Ом·м	ρ
Проводимость	сименс	См	g

Наименование	Единицы в Международной системе (СИ)		
	название	размерность	обозначение
1	2	3	4
Удельная проводимость	сименс на метр	См/м	$1/g$
Магнитный поток	вебер	Вб	Φ
Магнитная индукция	тесла (вебер на квадратный метр)	Тл	B
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	H
Абсолютная магнитная проницаемость	генри на метр	Гн/м	μ_a
Индуктивность	генри	Гн	L
Реактивное (индуктивное, емкостное) сопротивление	ом	Ом	X
Полное сопротивление	ом	Ом	z
Частота	герц	Гц	f

Приложение 2

Основные характеристики диэлектриков

Материал	Диэлектрическая проницаемость ε	Электрическая прочность МВ/м	Материал	Диэлектрическая проницаемость ε	Электрическая прочность, МВ/м
Воздух (при 293 К и давлении 100 кПа)	1*	3,3**	Минеральное масло	2,2÷2,5	20
Бумага	1,8÷2,6	10	Эбонит	3÷3,5	20
Парафин	2÷2,3	40	Кварц, стекло, слюда	5÷10	25
Полиэтилен	2,4	40	Фарфор	4,5÷6	15
Полистирол	2,4	50	Оксид алюминия	—	100
Картон	4,8	15	Титанат бария	800÷2200	—
Лакоткань	5÷6	100			

* Указаны средние значения диэлектрической проницаемости

** Данные справедливы для толщины диэлектрика 1 мм (за исключением оксида алюминия)

Приложение 3

Основные характеристики проводниковых материалов

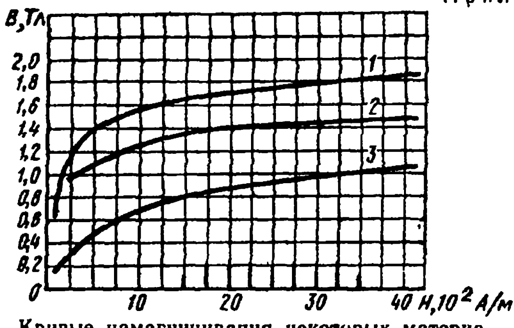
Наименование материала	Плотность кг/м³	Удельное сопротивление, 10^{-6} Ом·м	Удельная проводимость, 10^{6} См/м	Теплоемкость при 293÷393 К, Дж/(кг·К)	Температурный коэффициент сопротивления при 293÷393 К 1/К
Медь проводниковая	8900	0,0176	57	0,392	0,00411—0,0042
Алюминий	2700	0,0278	35	0,92	0,00431—0,00439
Латунь	8500	0,04	25	0,384	0,0027—0,0028
Вольфрам	19100	0,0612	16,34	0,146	0,0041—0,0050
Стальная проволока	7900	0,13	7,6	0,46	0,0057—0,00620
Олово	7300	0,143	7	0,234	0,0044
Свинец	11400	0,221	4,52	0,129	0,0038—0,0041
Нихром	8200	0,98	1,02	—	0,00015
Константан	8800	0,4—0,51	2,5—1,98	—	0,000005—0
Фехраль	7600	1,4	0,7	—	0,00028
Манганин	8100	0,42	2,38	—	0,00006

Приложение 4

Электрохимические эквиваленты и нормальные потенциалы металлов

Металл	Валентность	Электрохимический эквивалент, г/(А·ч)	Нормальный потенциал, В	Металл	Валентность	Электрохимический эквивалент, г/(А·ч)	Нормальный потенциал, В
Медь	1	2,372	+0,522	Никель	2	1,095	—0,250
Медь	2	1,186	+0,345				
Алюминий	3	0,335	—1,670	Серебро	1	4,025	+0,800
Железо	2	1,042	—0,440	Хром	3	0,648	—0,710
Золото	1	7,370	+1,700	Цинк	2	1,220	—0,760
Кобальт	2	1,099	—0,280	Свинец	2	3,856	—0,125
Марганец	2	1,025	—1,050	Калий	1	1,459	—2,920

Приложение 5



Кривые намагничивания некоторых материалов: *1* — электротехническая сталь, *2* — литая сталь, *3* — чугун

Приложение 6

Преобразование комплексных чисел

tgφ	$\sqrt{1+tg\varphi^2}$	cosφ	sinφ	φ° при знаках Res(A) и Im(A)			
				+ +	− +	+ −	− −
1	2	3	4	5	6	7	8
0,00	1,000	1,000	0,000	0,00	180,00	0,00	−180,00
0,05	1,001	0,999	0,050	2,86	177,14	−2,86	−177,14
0,10	1,005	0,995	0,100	5,71	174,29	−5,71	−174,29
0,15	1,011	0,989	0,148	8,53	171,47	−8,53	−171,47
0,20	1,020	0,981	0,196	11,31	168,69	−11,31	−168,69
0,25	1,031	0,970	0,243	14,04	165,96	−14,04	−165,96
0,30	1,044	0,958	0,287	16,70	163,30	−16,70	−163,30
0,35	1,059	0,944	0,330	19,29	160,71	−19,29	−160,71
0,40	1,077	0,928	0,371	21,80	158,20	−21,80	−158,20
0,45	1,097	0,912	0,410	24,23	155,77	−24,33	−155,77
0,50	1,118	0,894	0,447	26,57	153,43	−26,57	−153,43
0,55	1,141	0,876	0,482	28,81	151,19	−28,81	−151,19
0,60	1,166	0,857	0,514	30,96	149,04	−30,96	−149,04
0,65	1,193	0,838	0,545	33,02	146,98	−33,02	−146,98
0,70	1,221	0,819	0,573	34,99	145,01	−34,99	−145,01
0,75	1,250	0,800	0,600	36,87	143,13	−36,87	−143,13
0,80	1,281	0,781	0,625	38,66	141,34	−38,66	−141,34
0,85	1,312	0,762	0,648	40,36	139,64	−40,36	−139,64
0,90	1,345	0,743	0,669	41,99	138,01	−41,99	−138,01
0,95	1,379	0,725	0,689	43,53	136,47	−43,53	−136,47
1,00	1,414	0,707	0,707	45,00	135,00	−45,00	−135,00
1,10	1,487	0,673	0,740	47,73	132,27	−47,73	−132,27
1,20	1,562	0,640	0,768	50,19	129,81	−50,19	−129,81
1,30	1,640	0,610	0,793	52,43	127,57	−52,43	−127,57
1,40	1,720	0,581	0,814	54,46	125,54	−54,46	−125,54
1,50	1,803	0,555	0,832	56,31	123,69	−56,31	−123,69
1,60	1,887	0,530	0,848	57,99	122,01	−57,99	−122,01
1,70	1,972	0,507	0,862	59,53	120,47	−59,53	−120,47

tgφ	$\sqrt{1+tg\varphi^2}$	cosφ	sinφ	φ° при знаках Res(A) и Im(A)			
				+ +	− +	+ −	− −
1	2	3	4	5	6	7	8
0	2,059	0,486	0,874	60,95	119,05	—60,95	119,05
0	2,147	0,466	0,885	62,24	117,76	—62,24	- 117,75
0	2,236	0,447	0,894	63,43	116,57	—63,43	—116,57
5	2,462	0,406	0,914	66,04	113,96	—66,04	—113,96
0	2,693	0,371	0,928	68,20	111,80	—68,20	—111,80
5	2,926	0,342	0,940	70,02	109,98	—70,02	—109,98
0	3,162	0,316	0,949	71,57	108,43	—71,57	—108,43
0	3,640	0,275	0,962	74,05	105,95	—74,05	—105,95
0	4,123	0,243	0,970	75,96	104,04	—75,96	—104,04
0	4,610	0,217	0,976	77,47	102,53	—77,47	—102,53
0	5,099	0,196	0,981	78,69	101,31	—78,69	—101,31
0	5,590	0,179	0,984	79,70	100,30	—79,70	—100,30
0	6,083	0,164	0,986	80,54	99,46	—80,54	—99,46
0	7,071	0,141	0,990	81,87	98,13	—81,87	—98,13
0	8,062	0,124	0,992	82,87	97,13	—82,87	—97,13
0	9,055	0,110	0,994	83,66	96,34	—83,66	—96,34
0	10,050	0,100	0,995	84,29	95,71	—84,29	—95,71
5	15,033	0,067	0,998	86,19	93,81	—86,19	—93,81
0	20,025	0,050	0,999	87,14	92,86	—87,14	—92,83
0	30,017	0,033	0,999	88,09	91,91	—88,09	—91,91
0	40,014	0,025	0,999	88,48	91,52	—88,48	—91,52
0	50,012	0,020	0,999	88,88	91,12	—88,88	—91,12
0	60,010	0,016	0,999	89,13	90,87	—89,13	—90,87
0	70,008	0,014	1,000	89,35	90,65	—89,35	—90,65
0	80,006	0,012	1,000	89,59	90,41	—89,59	—90,41
0	90,004	0,011	1,000	89,69	90,31	—89,69	—90,31
0	100,00	0,010	1,000	89,81	90,19	—89,81	—90,19

Приложение 7

Универсальная магнитная характеристика машин постоянного тока типа ПН и МП

$I_в/I_{в н}$	$Ф/Ф_н$	$I_в/I_{в н}$	$Ф/Ф_н$	$I_в/I_{в н}$	$Ф/Ф_н$
0,00	0,05	0,55	0,75	1,10	1,04
0,05	0,10	0,60	0,80	1,15	1,06
0,10	0,20	0,65	0,84	1,20	1,08
0,15	0,30	0,70	0,88	1,25	1,10
0,20	0,40	0,75	0,91	1,30	1,12
0,25	0,45	0,80	0,93	1,35	1,14
0,30	0,50	0,85	0,95	1,40	1,16
0,35	0,55	0,90	0,97	1,45	1,18
0,40	0,60	0,95	0,99	1,50	1,20
0,45	0,65	1,00	1,00	1,55	1,22
0,50	0,70	1,05	1,02	1,60	1,24

Приложение 8

Основные параметры выпрямителей

Параметры выпрямителей	Виды выпрямителей			
	однополупериодный (рис. 120, *а*)	однофазный двухполупериодный		трехфазный двухполупериодный (*рис. 120, г*)
		со средней точкой (рис. 120, *б*)	*мостовой* (рис. 120, *в*)	
Постоянная составляющая выпрямленного напряжения (нулевая гармоника) $U_{о.в}$	0,45 $U_{вх}$*	0,9 $U_{вх}$	0,9 $U_{вх}$	1,35 $U_{вх}$
Постоянная составляющая выпрямленного тока (нулевая гармоника) $I_{о.в}$	0,637 $I_{вх}$*	1,27 $I_{вх}$	0,9 $I_{вх}$	0,95 $I_{вх}$
Ток выпрямителя в проводящем направлении $I_в$	1,57 $I_{о.в}$	0,78 $I_{о.в}$	0,78 $I_{о.в}$	0,58 $I_{о.в}$
Коэффициент пульсаций $k_{п.о}$	1,57	0,78	0,78	0,26
Напряжение на выпрямителе в обратном направлении $U_{обр}$	3,14 $U_{о.в}$	3,14 $U_{о.в}$	1,57 $U_{о.в}$	1,05 $U_{о.в}$
Частота пульсаций $f_п$	f_c**	$2f_c$	$2f_c$	$3f_c$

* $U_{вх}$ и $I_{вх}$ — действующие значения входных напряжений и тока

** f_c — частота напряжения питающей сети.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Алексеев О В., Китаев В. Е., Шихин А Я Электротехнические устройства. — М.: Энергоиздат, 1981.

Касаткин А С. Основы электротехники. — М.: Высшая школа, 1982

Китаев В Е. Электротехника с основами промышленной электроники. — М.: Высшая школа, 1985.

Сборник задач по общей электротехнике/Под ред. Пантюшина В. С — М.: Высшая школа, 1973.

Константинов В И, Симонов А Ф Сборник практических примеров и задач по общей электротехнике — М.: Высшая школа, 1971.

Липатов Д Н. Вопросы и задачи по электротехнике для программированного обучения. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

Ляшко М Н. Задачи и упражнения по радиоэлектронике Минск· Высшая школа, 1983.

Никулин Н. В. Электроматериаловедение — М. Высшая школа, 1984. Алгебра и начала анализа /Под ред. Колмогорова А Н. —М.· Просвещение, 1981.

Мякишев Г Я, Буховцев Б Б Физика. — М.: Просвещение, 1981.

Новиков П Н. Задачи с межпредметным содержанием в средних профессионально-технических училищах. — Минск: Вышэйшая школа, 1979.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Петр Николаевич Новиков
Владимир Яковлевич Кауфман

ЗАДАЧНИК по электротехнике с основами промышленной электроники

Зав. редакцией Э. М. Концевая. Редактор Г А Сильвестрович Мл. редакторы В. А. Короткина, М.Б. Кочерова. Художественный редактор Л. Громова. Художник В. В. Коренев. Технический редактор З. А. Муслимова Корректор С. К. Завьялова.

ИБ № 5004

Изд. № ЭГ-74. Сдано в набор 21.09.84. Подп. в печать 19.02.85. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 12,18. усл. печ. л. 12,4 усл. кр.-отт. 12 уч. изд. л. Тираж 150 000 экз. Зак № 489. Цена 45 коп.
Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14
Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 129041, Москва, ул. Б. Переяславская, 46.